

PROF. V. ČEPINSKIS

BRANDUOLIO CHEMIJA



Atspausdinta iš gamtos mokslų žurnalo

KOSMOS

1937

KAUNAS ————— 1937

PROF. V. ČEPINSKIS

BRANDUOLIO CHEMIJA

TRUMPA DIRBTINĖS ELEMENTŲ TRANS-
MUTACIJOS IR DIRBTINIO RADIOAKTIN-
GUMO APŽVALGA

Atspausdinta iš gamtos mokslų žurnalo

K O S M O S

1937

KAUNAS — — — — — 1937

Tur in y s

I ž a n g a: Trumpa naturalaus radioaktingumo charekteristika.

1 §. Dirbtinė elementų transmutacija. Rutherfordo istorinis eksperimentas. Wilsono kameros metodas jonizacijos, transmutacijos ir radioaktingumo procesams sekti.

2 §. Neutrono, deuterono ir pozitrono aptikimai 1932 m. Nauja pažiūra į branduolio sudėtį bei struktūrą.

3 §. Dirbtinai pagamintų labai greitų elektrinių dalelių reikalas. Cockrofto ir Waltono aparatas bei jų eksperimentas. Masės ir energijos ekvivalentingumo patikrinimas. Masės energijos sunaudojimo perspektyvos.

4 §. Ciklotronas ir elektrostatinis generatorius didelio voltažo elektrinėms dalelėms gauti.

5 §. Dirbtinės elementų transmutacijos svarbesnieji pavyzdžiai.

6 §. Dirbtinis radioaktingumas. Radio-natris.

7 §. Radiacijos materializacija.

8 §. Keletas bendrų pastabų.

I ž a n g a

Trumpa naturalaus radioaktingumo charakteristika

Yra žinoma, kad alchemikai amžiais darė pastangų paprastus metalus — geležį, varį, cinką, — paversti brangiais tauriaisiais metalais — auksu ir sidabru. Ir ne vien tik pasipelnymo sumetimais vadovavosi vidurinių amžių alchemikai, darydami daugybę įvairių įvairiausių bandymų, kad iš vieno metalo gautų kitą. Jiems nebuvo svetima graikų filosofų materijos vieningumo ideja, būtent, kad įvairūs įvairiausi fiziniai kūnai yra sudaryti jei jau ne iš vienos pagrindinės ir pirminės medžiagos, tai bent ne iš daugiau kaip ketverto ar penketo tokių pirminių medžiagų. Iš savo patyrimo alchemikai žinojo, kokią įvairenybę atmainų galima atsiekti su tam tikra medžiaga, veikiant ją kitoms medžiagoms. Taigi, visai suprantama, kad jie tikėjosi aptikti tokias operacijas, kuriomis galima būtų iš vieno metalo gauti kitą metalą.

Bet visos alchemikų pastangos šiąja prasme nuėjo niekais, ir naujoji chemija, išaugusi ant alchemikų sudaryto empirinio pagrindo, atmetė šią alchemikų „aukso svajonę“ kaip nerealizuojamą dalyką. Naujoji chemija nuo Boyle'io ir Lavoisier'o laikų išaiškino cheminio elemento bei atomo sąvokas ir griežtai jas apibūdino. Daugumas chemijos autoritetų iš XIX šimtmečio pabaigos buvo giliai įsitikinę, kad negalima vieno elemento paversti kitu. Žodžiu, elementų transmutacijos negalimumas tapo dogma, ir atomai, iš kurių elementai yra sudaryti, buvo pripažinti esą absoliučiai nekintamais padarais. Atomai buvo atvaizduojami kaip nedalomi, kieti, elastingi rutuliukai, taip kad vieno elemento atomai skiriasi nuo kito elemento atomų tik savo masėmis. Šitie atomai dalyvauja įvairiose chemijos atmainose, bet patys nesikeičia. XIX šimtmečio pabaigoje tokių nekintamų atomų rūšių buvo žinoma apie 80 (vadinasi, buvo žinoma apie 80 cheminių elementų).

Tiesa, kaikurie chemikai ir fizikų dauguma čia nupieštą atomo vaizdą laikė nesuderinamą su elementų spektrų nepaprastu sudėtingumu. Jie manė, jog elementų spektrus galima išaiškinti tik prileidus, kad atomai sudėtingi padarai ir turi tam tikrą struktūrą. Tokio prileidimo reikalavo ir Mendeliejevo paskelbtas periodinis dėsnis. Pasikartojimas elementuose pagrindinių cheminių savybių per tam tikrus intervalus (8,18,32) periodinėje elementų lentelėje visai nesuprantamas, jei atomas yra vientisinis elastingas rutuliukas be jokios struktūros. Bet jei per tam tikrą intervalą periodinėje lentelėje pasikartoja ta pati struktūrinė konfigūracija kaikurių atomus sudarančių sudėtinių dalių, tai pasikartojimas atomų resp. elementų kaikurių savybių darosi suprantamas.

I šitas abejones ir į šituos priekaištus vientisinio nekintamo atomo teorijai kurį laiką buvo kreipiama labai maža dėmesio. Pav., patsai periodinės elementų sistemos autorius D. Mendeliejevas laikė šituos priekaištus bergždžia argumentacija. Taip buvo iki XIX šimtmečio paskutinių kelerių metų.

Žmogus, kaip ir kiti gyvi padarai, siekia pastovumo, t. y. pusiausviros tarp savo vidujinio gyvenimo ir aplinkumos. Jis stengiasi stabilizuoti atsiektą padėtį, sukurdamas papročius bei tradicijas ir apsišarvuodamas dogmomis. Bet gamtai tai netinka, nes jai rūpi palaikyti gyvenimo judėjimą, jo gaivumą. Todėl ji laikas nuo laiko „iškerta šposus“, t. y. atidengdama nelauktus ir netikėtus dalykus verčia žmogų atsisakyti nuo taip brangaus jam *status quo* ir siekti naujos pusiausviros padėties. Panašiai atsitiko ir nekontinuotam atomo dogmai chemijos srityje. X-spindulių, elektrono ir radioaktingumo aptikimai 1895 — 1898 m. privertė mokslininkus atsisakyti nuo šitos dogmos ir sukurti naują elektrinę atomo teoriją.

Radioaktingumas pasireiškia tuo, kad kai kurie sunkiųjų elementų atomai, pav., kaip torio ir urano, be paliovos išmeta elektriškai teigiamai užtaisytas α -daleles, elektriškai neigiamas β -daleles ir γ -spindulius. Šito proceso tyrinėjimai parodė, kad α -dalelės yra divalenčiai teigiami helio ionai, kad β -dalelės yra labai greitai elektronai ir γ -spinduliai labai kieti X-spinduliai. Be to, paaiškėjo, kad tai yra spontaninio torio ir urano atomų skilimo arba net sprogimo produktai. Iš α -dalelių, susijungus joms su elektronais, susidaro elementas helis, o likusi torio ar urano atomo dalis virsta kito, naujo elemento atomu. Žodžiu, paaiškėjo, kad gamta praktikuoja elementų transmutaciją ir kad alchemikų „aukso svajonė“ nebuvo beprasmiškas dalykas.

Šitos radioaktingos transformacijos vyksta nuosakiai ir sudaro reakcijų eilę arba grandinę. Kitaip sakant, urano atomas, paeiliui išmesdamas čia α čia β -daleles, virsta vis kito, naujo elemento atomu. Nepaprastai radioaktingas elementas radis, kurį aptiko 1898 m. vyras ir žmona Curie, yra vienas urano transmutacijų eilės narių. Šitas elementas radis turėjo nepaprastai didelės reikšmės radioaktingumo esmei suprasti ir atomo strukturai bei sudėčiai išaiškinti. Paskutinis urano transmutacijų eilės narys — yra pastovus neradioaktingas elementas švinas. Panašią transmutacijų eilę sudaro ir toris bei jo radioaktingų atmainų eilės paskutinis narys švinas. Tai Soddy paskelbtos atomų spontaninės dezintegracijos teorijos esmė.

Išmetamos radžio α -dalelės turi labai didelius greitus, 20000 kilometrų per sekundę. Vadinasi, kinetinė tų dalelių energija labai didelė. Susidomėjęs tuo Rutherford'as tyrė jų prasiskverbimo galią per įvairių medžiagų sluoksnius. Tuomet jau paaiškėjo, kad neutralūs atomai yra sudaryti iš teigiamų ir neigiamų elektros kroviniių. Bet buvo neaišku, kaip tie elektros kroviniai sukombinuoti atomuose. Kadangi α -dalelės užtaisytos elektriškai teigiamai, tai jos, lėkdamos pro šalį tos ar kitos medžiagos atomų, turėtų smarkiau ar silpniau atsilenkti atomų teigiamos elektros įtakoje. Taip galvodamas Rutherford'as sumanė ištirti α -dalelių atsilenkimą, einant joms per labai plonus metalų sluoksnius. Tai pagarsėję Rutherfordo α -dalelių išsklaidymo bandymai, kuriuos jis atliko 1910–1912 m. laikotarpy.

Šitie bandymai visų pirma parodė, kad tik labai maža dalis α -dalelių, prasiskverbiančių per ploną metalo, sakysime aukso, sluosnį, atsilenkia nuo savo pirminių tiesialinių kelių. Didžioji α -dalelių dalis pereina per metalo sluosnį visai neatsilenkdamos. Šitoks rezultatas darosi suprantamas prileidžiant, kad atomų teigiamos elektros kroviniai sukoncentruoti atomo viduje, beveik taške. Tad α -dalelių dauguma praeina palyginti taip toli nuo šitų teigiamų kroviniių, kad elektriškos atsparos jėga praktiškai yra lygi nuliui.

Šitais savo α -dalelių išsklaidymo bandymais Rutherfordas nustatė dar vieną labai svarbų dalyką. Pritaikinęs α -dalelių atsilenkimui tikimybės dėsnius ir astronominę perturbacijų formulę, jis sugebėjo suskaičiuoti didumą teigiamos elektros krovinų, sukonzentruotų atomų centruose. Pasirodė, kad atomo teigiamos elektros krovinys yra kartotinas tam tikro elementarinio elektros kiekio, būtent, elektrono elektros krovinio, kuris yra lygus $4,77 \cdot 10^{-10}$ e.s.u. (elektro-statinių vienetų). Šių elementarinių (mažiausių) elektros krovinų skaičių duoda atomo, resp. elemento eilinis skaičius periodinėje elementų lentelėje, vadinamas atominis skaičius.

Šią Rutherfordo išvadą 1913 metais kategoriškai patvirtino Moseley'o tyrinėjimai didelio dažnumo spektrų, t.y. charakteringų elementams X-spektrų. Moseley'o nustatytas dėsnis sako, kad kvadratinės šaknys iš charakteringų elementams X-linijų dažnumų, einant paeiliui nuo elemento į elementą, santykiauja kaip sveiki eiliniai skaičiai. Bet tai reiškia, kad eilinis atomo resp. elemento skaičius periodinėje lentelėje yra elementarinių atomo teigiamos elektros krovinų skaičius.

Pasinaudojęs šitais Rutherfordo ir Moseley'o tyrinėjimų rezultatais, Kopenhagos fizikas Niels Bohr'as sukūrė tokią atomo struktūros teoriją, kurios pagalba pasisekė tinkamai išaiškinti ir elementų spektrus ir jų pagrindinių cheminių savybių periodiškumą pareinamai nuo jų atominio skaičiaus. Šią teoriją, žinomą kaip Bohro-Rutherfordo atomo modelį, Bohras paskelbė 1913 metais. Jos esmė yra ši.

Neutralūs atomai yra sudaryti iš dviejų pirminių dalelių: iš elektroteigiamų protonų (vandenilio ionai) ir elektroneigiamų elektronų. Protono ir elektrono elektros kroviniai yra to paties didumo, tik priešingų ženklų. Tai mažiausieji elektros kroviniai, kokius tik žino fizikai. Tai teigiamos ir neigiamos elektros atomai. Taigi, elektriškai teigiamai užkrauta centrinė atomo dalis, vadinamas atomo branduolys, turi būti sudaryta iš protonų. Kadangi protono masė 1850 kartų didesnė, kaip elektrono masė, tai atomų branduolių masė ir atomų masė, praktiškai imant, pareina tik nuo protonų. Todėl, sudarant atomo branduolį, reikia imti tiek protonų, kad išeitų atominė masė, išreikšta artimiausiu sveiku skaičiumi pagal periodinę lentelę.

Tai yra vadinamas masės skaičius. Protonui tasai masės skaičius lygus 1. Pavyzdžiui, urano atominė masė tiksliai yra 238,14. Vadinasi, urano masės skaičius 238 ir todėl urano atomo branduolys sudarytas iš 238 protonų. Bet tarp protonų veikia elektrinės atsparos jėgos. Kad protonai neišsisklaidytų, reikia surišti juos, įvedus į branduolį tam tikrą skaičių neigiamai užkrautų elektronų. O kiek tokių ryšio elektronų reikia paimti? Urano atomins skaičius 92. Vadinasi, urano atomo teigiamas elektros krovinys, išreikštas elementariniais elektros vienetais, yra 92. Tad ryšio elektronų reikia paimti $238 - 92 = 146$. Vadinasi, urano atomo branduolys susideda iš 238 protonų ir 146 elektronų. Šitai sudaryta branduolį reikia apsupti 92 elektronų spiečiumi, nes urano atomas elektriškai yra neutralus. Pusiausvira tarp šių elektronų ir branduolio galima tik ta sąlyga, kad šitie elektronai sukasi aplink branduolį tam tikromis orbitomis. Todėl šitie viršiniai elektronai laikada vadinami planetiniais elektronais. Mat, Bohro-Rutherfordo atomo modelis labai primena saulės sistemą ir todėl laikada jis vadinamas astronominiu atomo modeliu.

Bet besisukdami aplink branduolį, elektronai visą laiką atiduoda energiją radiacijos pavidalu. Taigi, tie elektronai turėtų eiti artyn prie branduolio ir pagaliau susilieti su branduoliu. Tokiomis sąlygomis elementai turėtų duoti tolydinį spektrą. To reikalauja elektromagnetinė šviesos teorija. Bet tikrovė, planetiniai elektronai nesusilieja su branduoliu ir elementai duoda netolydinius linijų spektrus.

Šiam sunkumui pašalinti B o h r'as traktuoja spektrų problemą kvantų teorijos žvilgsniu. Jis visų pirma prileidžia, kad pusiausviros padėtyje elektronai sukasi aplink branduolį ne bet kokiomis orbitomis, o tam tikromis stacionarinėmis, arba pusiausviros, orbitomis, neatiduodami energijos radiacijos pavidalu. Šioms pusiausviros orbitoms galioja kvantų lygtis: $m v \cdot 2\pi r = nh$. Čia h vadinamoji Planck'o konstanta, n sveikas skaičius 1, 2, 3..., $m v$ elektrono judėjimo kiekis ir $2\pi r$ orbitos ilgis ($m v \cdot 2\pi r$ vadinasi akcija). Pagal šią lygtį galima suskaičiuoti pusiausviros orbitų stipinius $r_1, r_2, r_3, \dots$, pirmos artimiausios branduoliui orbitos, antros, trečios ir t. t., imant n lygų 1, 2, 3...

Bet šito prileidimo spektrų linijoms išaiškinti neužtenka. Todėl B o h r'as daro antrą prileidimą, taja prasme, kad planetinis elektronas atiduoda vieną kvantą $h\nu$ energijos tik peršokdamas iš tolesnės orbitos į artesnę branduoliui orbitą tų ar kitų veiksnių įtakoje. Šitas energijos kvantas ir pasireiškia tam tikros spektro linijos pavidalu. Pažymėsime elektrono energiją ant tolimesnės orbitos eilinio skaičiaus m ženklu E_m ir energiją ant artesnės orbitos eilinio skaičiaus n ženklu E_n . Tad mes turime $E_m - E_n = h\nu$ (ν reiškia linijos dažnumą).

Energiją, arba radiaciją, elektronai absorbuoja taip pat kvantais. Elektronas, pereidamas iš artesnės į tolesnę nuo branduolio orbitą, absorbuoja kvantą energijos.

Visa tai pagaliau reiškia, kad planetiniai elektronai sudaro aplink branduolį tam tikras energijos zonas arba lygmes. Vadovaujantis atomų spektrų duomenimis ir periodinės elementų sistemos reikalavimais, kiekvienos rūšies atomui planetinių arba išorės elektronų pasiskirstymas energijos lygmėmis šiandien yra aiškiai nustatytas.

Savaime aišku, kad branduolio elektronai yra surišti daug stipresnėmis elektrinėmis jėgomis, kaip išorės, arba planetiniai, elektronai. Pastarieji yra, palyginti, palaidi, ypač elektronai paskutinės tolimiausios nuo branduolio zonos. Šitos zonos elektronai vadinami valentingumo elektronais. Chemikas savo paprastomis priemonėmis nieko negali padaryti su branduolio elektronais. Jis čia bejėgis. Ir vidujinių zonų elektronai jam sunkiai prieinami. Dažniausiai jis manipuliuoja su paskutinės, valentingumo zonos, elektronais ir kai kada dar su priešpaskutinės zonos elektronais. Chemikas sugeba išmušti vieną kitą elektroną iš valentingumo zonos arba įvartį į šią zoną vieną kitą elektroną. Žodžiu, chemikas sugeba ionizuoti atomus, o jau cheminės reakcijos vyksta tarp ionų.

Bet radioaktingos atmainos yra atomo branduolio savumas. Ar turime reikalo su metaliniu radžiu, ar su radžio druska, radioaktingumo procesas yra tas pats. Nei aukštomis nei žemomis temperaturomis, nei žemais nei aukštais slėgimais negalima pakeisti radioaktingumo proceso eigos. Vadina si, radioaktinga atmaina nepasiduoda jokių išorinių veiksnių įtakai. Tai

atmaina pačiam atomo viduje, atomo branduolyje. Tos atmainos rezultatas — elemento transmutacija, t. y., perėjimas vienos rūšies atomų į kitos rūšies atomus.

Radioaktingos medžiagos išmeta α ir β -daleles. Pati išorinė atomo sritis, atomo atmosfera, susideda tik iš elektronų. Vadinasi, α -dalelės gali išeiti tik iš branduolio, nes iš elektronų α -dalelė negali susidaryti. Bet kadangi atomo branduolį sudaro protonai ir elektronai, tai iš 4 protonų ir 2 elektronų lengvai gali susidaryti α -dalelė, kuri yra ne kas kita, kaip helio atomo branduolys. O tai yra labai pastovi kombinacija, iš sudėtingų branduolių pastoviausia. Kada atomas išmeta α -dalelę, tai jo atominė masė sumažėja 4-siais vienetais, o jo teigiamos elektros kroviny s sumažėja 2 vienetais, kitaip sakant, jo atominis skaičius sumažėja 2 vienetais.

Kadangi pagrindinės atomo cheminės savybės pareina ne nuo jo atominės masės, bet nuo jo atominio skaičiaus, tai, išmetus atomui vieną α -dalelę, turime jau kitą atomą, kurio padėtis periodinėje elementų lentelėje yra pasistūmusi 2 vietom atominių skaičių mažėjimo kryptimi.

Kada atomo branduolys sprogdamas išmeta β -dalelę, t. y. labai greitą elektroną, tai jo masės pasikeitimą galima praktiškai ignoruoti. Bet jo atominis skaičius eina didyn vienu vienetu, nes jis nustoja vieno neigiamo elementarinio elektros krovinio, kitaip sakant, įsigyja vieną teigiamos elektros elementarinį krovinį. Vadinasi, išmetus branduoliui β -dalelę, atomo padėtis periodinėje lentelėje pasistumia viena vieta atominių skaičių didėjimo kryptimi. Tai S o d d y paskelbtas perstūmos dėsnis, kurio tenka paisyti, sekant radioaktingas atmainas.

Šito dėsnio veikimo rezultatai įdomūs ir svarbūs. Imame, sakysime, radioaktingą elementą atominio skaičiaus n periodinės lentelės IV grupėje. Tegu jo atominė masė bus A . Tegu jo radioaktingumas pasireiškia tuomi, kad jo branduolys išmeta vieną α -dalelę. Tad susidaro naujas elementas atominės masės $A-4=B$ ir atominio skaičiaus $n-2$. Vadinasi, tas elementas priklauso II periodinės lentelės grupei. Jei jis taip pat radioaktingas ir išmeta β -dalelę, tai mes gauname vėl kitą elementą praktiškai tos pačios masės B , bet atominio skaičiaus $n-1$. Vadinasi, šitas elementas priklauso periodinės lentelės III grupei. Jei ir šitas elementas radioaktingas ir išmeta β -dalelę, tai pagaliau gauname elementą atominės masės B , bet atominio skaičiaus n ir priklausančį IV grupei. Vadinasi, mes gauname du atomų skirtingų atominių masių, bet to paties atominio skaičiaus ir toje pačioje periodinės lentelės grupėje. Tokie atomai vadinasi isotopais, nes turi tą pačią vietą periodinėje lentelėje. Kadangi pagrindines chemines atomo savybes nulemia ne atominė masė, kaip manė M e n d e l i e j e v a s, o atominis skaičius, tai isotopai skiriasi tik atominėmis masėmis ir yra identiškai cheminių savybių atžvilgiu. Isotopų branduolių masės skirtingos, bet jų teigiamos elektros kroviniai identiški.

Isotopijos fenomeną surado S o d d y, pastebėjęs, kad paprastas švinas, švinas iš urano rūdžių ir švinas iš torio mineralų turi skirtingas atominės mases. Savo perstūmos dėsniu jis šitą fenomeną tinkamai interpretavo. Iš žinomų mums šiandien elementų daugiau kaip pusė pasižymi tuomi, kad kiekvienas jų yra sudarytas iš dviejų, trijų ir daugiau skirtingos masės atomų. Žinome 90 skirtingų elementų, bet 208 skirtingos masės atomus.—

Nesunku suvokti, kad atomo atominis skaičius eina mažyn vienu vienetu, kada radioaktingas atomas išmeta tuo pačiu metu ir α ir β -daleles.

Visais tokiais atvejais mes turime elementų transformaciją. Bet kai kada išmesti elektronai priklauso branduolį apsupančiai elektronų atmosferai. Kai kada branduolys atpalaiduoja γ -spindulius, kitaip sakant kietus X-spindulius. Šitie γ -spinduliai veikia pačių vidurinių, artimiausių branduoliui, zonų elektronus, perkeldami juos į tolimesnes nuo branduolio išorines zonas ir net visiškai išmušdami iš atomo. Bet tokiu atveju nei branduolio masė, nei jo atominis skaičius nesikeičia ir todėl nėra jokios elemento transmutacijos.

Taigi, radioaktingumo procesai yra ne kas kita, kaip atomų branduolių spontaniniai skilimai arba sprogimai. Šią fenomeną reiškia tik kaikurių pačių sunkiųjų elementų atomai.

Matyt, kaikurių sunkiųjų atomų branduoliai yra metastabilioje būklėje. Bet kokiomis sąlygomis sudarančios branduolį elektrinės dalelės būna pastovios pusiausvyros padėty ir kokiomis sąlygomis ta padėtis būna nepastovi, apie tai nieko šiandien nežinome. Apskritai, mes kol kas nieko nežinome apie radioaktingumo priežastis. Iš daugybės, sakysime, urano atomų tam tikras jų skaičius per tam tikrą laiką susiskaldo, išmesdamas α -daleles. Bet mes neturime jokio galimumo iš anksto numatyti, kurie iš daugybės atomų susiskaldys. Ar fiksuotas atomas sprogs, ar ne, tai tik atsitiktinumo dalykas. Vadinasi, mes galime nagrinėti spontaniinę atomų dezintegraciją, vadovaudamiesi tikimybės principais ir taikyti šitam procesui statistikos metodus. Tuo būdu nustatytas labai charakteringas radioaktingumui dėsnis: per tam tikrą laiką susiskaldo visuomet tam tikra dalis turimo radioaktingos medžiagos kiekio. Priimta charakterizuoti radioaktingas medžiagas tuo laiku, per kurį susiskaldo pusė paimtos medžiagos. Šitas laikas vadinamas radioaktingos medžiagos „pusiau amžiumi“, arba periodu. Pavyzdžiui, radžio periodas yra 1600 metų. Tai yra, paimtas radžio kiekis per 1600 metų nustos pusės savo radioaktingumo. Per 2.1600 metų nustos likusios pusės pusės. Taigi, pasiliko tik $\frac{1}{4}$ buvusio iš pradžios radioaktingumo, per 3.1600 metų pasiliko tik $\frac{1}{8}$ ir t. t. Vadinasi, likusi radioaktingumo dalis keičiasi pagal geometrinę progresiją $\frac{1}{2}$, $(\frac{1}{2})^2$, $(\frac{1}{2})^3$... $(\frac{1}{2})^n$. Tasai periodas uranui yra $4,5 \cdot 10^9$ metų, radonui 3,82 dienų, o toriui $C' 10^{-11}$ sekundų. Taigi, šituo žvilgsniu įvairenybė tarp radioaktyvių medžiagų kodidžiausia.

Apskritai, jei pradžios radioaktingumas I_0 , tai radioaktingumas laiku t bus $I = I_0 e^{-\Lambda t}$. Čia e natural. logaritmų bazė, o Λ —tam tikra konstanta, kuri nustatoma bandymais. Iš šitos lygties eina „pusiau amžius“ arba periodas

$$t = \frac{1}{\Lambda} \ln 2 = \frac{2,303}{\Lambda} \lg 2 = \frac{0,692}{\Lambda}$$

Pagaliau bus gal ne pro šalį pažymėti čia ir erdvinius santykius, kuriuose vyksta paprastos cheminės atmainos ir radioaktingos atmainos, nors tie santykiai ir išeina iš mūsų imaginacijos ribų. Atomo stipinas vidutiniškai 10^{-8} cm, o branduolio stipinas 10^{-12} cm. Vadinasi, visas atomo tūris santykiauja su branduolio tūriu kaip $\frac{(10^{-8})^3}{(10^{-12})^3} = 10^{12}$.

Taigi, išeina, kad atomo tūris yra milijoną milijonų kartų didesnis už branduolio tūrį. Tai reiškia, kad apsupanti branduolį elektronų atmosfera sudaro beveik visą atomo tūrį, taip kad atomo centras — branduolys atrodo kaip taškas. Tačiau šitas taškas turi tam tikrą struktūrą ir jame sukonzentruota beveik visa atomo masė. Tame taške ir vyksta visos radioaktingos atmainos. Iš tų atmainų sprendžiama apie branduolio struktūrą, apie tai, kaip paskirstytos sudarančios branduolį elektrinės dalelės, kiek ir kokios energijos zonos jos sudaro. Žodžiu, sekdami radioaktingas atmainas, galime šioji tokį supratimą apie veikiančias branduolio viduje jėgas, apie potencialo barjerus branduolyje.

Bet jau iš paminėtų čia erdvinių santykių aišku, kad klasikinės mechanikos dėsniai branduolio atmainų nagrinėjimams netinka. Mechaniški modeliai, mūsų imaginacijos padarai, čia nieko nebepadeda. Todėl naujausios šių dienų fizikos skyrius, vadinama branduolio fizika, nagrinėdama branduolį, naudoja grynai abstraktiniais matematiniais kvantų mechanikos metodais, nors tos kvantų mechanikos dėsniai ir nesuderinami su vadinaamo sveiko proto reikalavimais.

Paprastos cheminės atmainos vyksta eksbranduolinėje atomo srityje, t. y. jos paliečia branduolį apsupančią elektronų atmosferą ir dažniausia tos atmosferos pačią paviršutinę, vadinamą valentingumo zoną. Bet ir šitoje srityje vien su klasikinės mechanikos principais šiandien jau nebegalima apsieiti. Tenka griebtis ir kvantų mechanikos pagalbos, kaip tai rodo B o h r o R u t h e r f o r d o atomo modelio išsiplėtojimas.

Taigi matome, jog radioaktingumo aptikimas parodė, kad gamta išimtiniais atvejais praktikuoja elementų transmutaciją, t. y. perėjimą vienos rūšies atomų į kitos rūšies atomus. Tasai aptikimas sugriovė nekintamo vientisinio atomo teoriją ir jos vieton pastatė naują elektrinę sudėtingo atomo teoriją. Šiandien mes manome, kad atomas susideda iš centrinės dalies, branduolio, kuris sudarytas iš protonų ir elektronų (arba, kaip pamatysime vėliau, iš protonų ir neutronų), ir iš elektronų atmosferos, apsupančios tą branduolį. Žodžiu, atomas yra sudarytas iš teigiamų ir neigiamų elektrinių dalelių, ir atomo viduje veikia elektrinės jėgos.

Tolymesnis šitų jėgų nagrinėjimas yra artimai susietas su dirbtine elementų transmutacija ir dirbtiniu radioaktingumu, kurių mes toliau ir žiūrėsime.

1 §. Rutherfordo istorinis eksperimentas 1919 m.

*Rutherfordo eksperimento smulkus aprašymas.
Kitas metodas arba Wilsono kameros metodus dalelių susidaužymams ir tų susidaužymų rezultatams sekti. Dalelių takų fotografavimas. Rutherfordo procesas Wilsono kameroje.*

Kadangi pagrindingas natūralaus radioaktingumo ištyrimas parodė, jog čia turima reikalo su spontaniniu kaikurių sunkiųjų elementų atomų skilimu, taip kad iš atomų skeveldrų susidaro kitos rūšies atomai, tai bus suprantama, kad vienam kitam fizikui atėjo į galvą mintis paieškoti tokių priemonių, kuriomis galima būtų dirbtiniu būdu skaldyti atomus ir tuo realizuoti dirbtinę atomų transmutaciją.

Šita mintis nedavė ramybės ir Rutherford'ui, vienam iš didžiausių radioaktingumo tyrinėtojų. Jis galvojo šitaip. Chemikas, norėdamas įvykdyti tą ar kitą reakciją, suteikia reaguojančioms medžiagoms energijos, dažniausiai šilimos pavidalu. Žodžiu, chemikas stengiasi pakelti reaguojančių medžiagų temperatūrą, kitaip sakant, padidinti molekulių ir atomų kinetinę energiją. Bet įprastomis laboratorijos priemonėmis negalima pasiekti aukštesnės temperatūros kaip 4000° C. Tiekos toli gražu neužtenka branduolių sudarančioms dalelėms išjudinti ir priversti jas persigrupuoti. Bet Rutherfordui gerai buvo žinomos iš radioaktingų medžiagų išmetamos elektriškai teigiamos α -dalelės. Jis žinojo, kad išmetamos, sakysime, radžio α -dalelės būna įvairių greitumų, t. y. įvairių energijų (čia kalbama apie kinetinę energiją). Priimta kalbėti apie įvairaus nuotolio α -daleles arba apskritai apie įvairaus nuotolio elektrines daleles. Tai oro sluogsnio storumas centimetrais, per kurį gali prasimušti, sakysime, α -dalelė, kol ji nustoja savo kinetinės energijos. Šią oro sluogsnį galima pakeisti atitinkamo storumo kurios kitos medžiagos sluogsniumi, sakysime, aluminio. Aišku, kad juo didesnis dalelės greitumas, tai yra didesnė jos kinetinė energija, juo didesnis bus ir jos nuotolis (anglų kalba *range*). Nutal'is ir Geiger'is įrodė, kad juo trumpesnis radioaktingos medžiagos „pusiaujamžius“ arba periodas, tai didesnio nuotolio α -dalelės ta medžiaga išmeta. Mes turime tabelę, kurios duoda išmestų dalelių nuotolius ir jų kinetines energijas.

Rutherfordui buvo žinoma, kad didelio nuotolio α -dalelės išmeta vienas radžio radioaktingų atmainų produktas, būtent, RaF, kitaip vadinamas polonis (ponios Curie surastas). Išmetęs α -dalelę polonis virsta švinu. Šių α -dalelių greitumas apie 20 000 km/sek. Šiandien jau projektuojamos patrankos, kurios suteiktų šoviniui greitumą apie 2 km/sek. Jei toksai šovinytis turėtų tokią pat masę, kaip α -dalelė, tai jo kinetinė energija santykiuotų su α -dalelės kinetine energija, kaip 2 %: $(2 \cdot 10^4)^2 = 1 : 10^8$. Vadinas,

α -dalelės kinetinė energija yra šimtą milijonų kartų didesnė kaip galingiausios patrankos išmesta šovinio kinetinė energija.

Kad būtų dar aiškiau, kokią galingą energijos išteklių sudaro išmetamos radioaktingų medžiagų α -dalelės palyginti su paprastai vartojamais laboratorijose energijos ištekliais, palyginsime α -dalelių kinetinę energiją su anglies degimo energija. 1 gramas geriausios rūšies anglies, susijungdamas su deguonim ir sudarydamas CO_2 , atpalaiduoja 8000 maž. kalorijų, arba $8000 \cdot 4,2 \cdot 10^{-10} = 33,6 \cdot 10^{-7}$ ergų. O 1 gramas α -dalelių turi kinetinę energiją $\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (2 \cdot 10^9)^2 = 2 \cdot 10^{18}$ ergų. Tai reiškia, kad reikėtų sudeginti $\frac{2 \cdot 10^{18}}{33,6 \cdot 10^{10}} = 6 \cdot 10^6$ gramų, arba 6 tonas, geriausios rūšies anglies, kad gautum tiek kinetinės energijos, kiek jos turi α -dalelių 1 gramas.

Tiesa, čia kalbama apie α -daleles, kurias išmeta polonis. Tai didžiausio greitumo ir didžiausios energijos α -dalelės. Kitų radioaktingų medžiagų išmetamos α -dalelės turi mažesnius greitumus. Bet ir šitų lėtesnių dalelių energija yra labai didelė.

Pagaliau, aiškumo dėliai, galima susiskaiciuoti, kokią temperatūrą atitinka α -dalelės kinetinė energija. Naujoje fizikoje priimta elektrinių dalelių energiją išreikšti elektron-voltais. Išreikštas elektromagnetiniais vienetais elektrono krovinys yra $1,59 \cdot 10^{-20}$ emu. 1 voltas, išreikštas absoliutiniais vienetais, yra 10^8 . Todėl 1 elektronvoltas yra lygus $1,59 \cdot 10^{-20} \cdot 10^8 = 1,59 \cdot 10^{-12}$ ergų.

Imame α -daleles vieno milijono elektron-voltų (*e. v.*) energijos. Tai palyginti, lėtos dalelės. Jų greitumas tarp 6000–7000 km per sekundę. Bet pažiūrėkime, kokią temperatūrą atitinka šitas greitumas. Milijonas elektron-voltų reiškia $10^6 \cdot 1,59 \cdot 10^{-12} = 1,59 \cdot 10^{-6}$ ergų. Tai kinetinė dalelės energija, kurią galima išreikšti ir taip: $\frac{3}{2} k T$. Čia k Boltzmano konstanta, lygi $1,4 \cdot 10^{-16}$ ir T absoliutinė temperatūra. Taigi, $1,59 \cdot 10^{-6} = \frac{3}{2} \cdot 1,4 \cdot 10^{-16} \cdot T$ ir

$$T = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,59 \cdot 10^{-6}}{1,4 \cdot 10^{-16}} = 7 \cdot 10^9 \text{ (apytikriai).}$$

Vadinasi, vieno milijono elektron-voltų energijos α -dalelės temperatūra yra apie 7000 milijonų Celsijaus gradų. Tik nenustebkime! Kinetinė teorija ir termodinamika nustato žemutinę temperatūros ribą, būtent, absoliutinį temperatūros nulį, bet nenustato aukštesnės temperatūros ribos. Taigi, galime drąsiai kalbėti apie 7000 milijonų Celsijaus gradų, kaip tai daro astronomai. Bet astronomų suskaičiavimais sudriausių žvaigždžių vidaus temperatūra siekia tik kelis šimtus milijonų Celsijaus gradų. Vadinasi, niekur kitur Kosme nėra tokios galingos energijos ištekliaus, kaip radioaktingų medžiagų išmetamos α -dalelės. Tik vadinamoji imanentinė masės energija mc^2 yra didesnė.

Šiąją progą pažymėsime, kad išmetami radioaktingų medžiagų elektronai yra daug greitesni už α -daleles. Elektronų greitumas kai kada artinasi prie šviesos greitumo. Bet dėl labai mažos elektrono masės jo kinetinė energija yra mažesnė už α -dalelės kinetinę energiją. Imame elektroną greitumo 200 000 km per sekundę ir α -dalelę greitumo 20 000 km per sek. Pirmosios dalelės kinetinė energija $\frac{9 \cdot 10^{-28} \cdot (2 \cdot 10^{10})^2}{2} =$

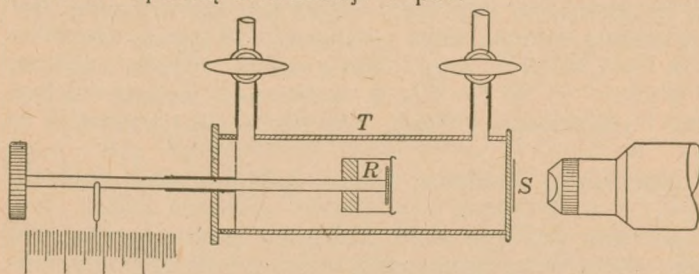
$$= 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ ergų, antrosios dalelės } \frac{6,7 \cdot 10^{-24} \cdot (2 \cdot 10^9)^2}{2} = 1,34 \cdot 10^{-5} \text{ ergų.}$$

Taigi, dešimts kartų greitesnio elektrono kinetinė energija yra $\frac{1,34 \cdot 10^{-6}}{1,8 \cdot 10^{-7}} = 70$ kartų mažesnė už α -dalelės kinetinę energiją.

Dėl to nenuostabu, kad Rutherfordui atėjo į galvą pamėginti daužyti įvairių medžiagų atomus α -dalelėmis. Jei laboratorijos priemonėmis gauta šiluma negalima paveikti atomų branduolių, tai gal juos išjudins labai didelių greitumų ir labai didelės kinetinės energijos α -dalelės? Žodžiu, Rutherfordas ryžosi pasinaudoti α -dalelėmis kaip savotiškais šoviniais atomams daužyti. Bet jam iš pat pradžios buvo aišku, kad jei ir bus koks efektas, tai jis bus menkas, kad tokio šaudymo našumas bus menkas, todėl, kad ir šovinys ir taikiny s labai menki dalykai; α -dalelė yra helio branduolys. Taigi, šitos dalelės ir kitų atomų branduolių stipinas apie 10^{-12} cm. ir, vadinasi, jų paviršius proporcingas 10^{-24} cm². Taigi, iš anksto galima buvo numatyti, kad iš milijono α -dalelių geriausiu atveju viena, kita dalelė pataikys į branduolį. Be abejo, tai prastesis veikimas, kaip žvirblių šaudymas iš didelių patrankų. Bet ką gi padarysi, jei kito metodo nėra.

* * *

Po šitų bendrų pastabų ne sunku bus suprasti istorinės reikšmės turintį Rutherfordo eksperimentą, kurį jis atliko 1919 m. ir kuriuo pirmą kartą pasisiekė dirbtiniu būdu suskaldyti atomą, būtent, azoto atomą. Rutherfordo aparatą atvaizduoja 1 pav.



1 pav. Rutherfordo aparatas

Mes čia turime ilgą stiklo vamzdį T su dviem kranais, kurių pagalba galima įleisti į vamzdį tos ar kitos rūšies dujų reikiamo spaudimo (paprastai, žemo spaudimo). Vamzdis uždarymas iš abiejų galų. Per vieną jo galą pra-

kištas stiklo stiebas, kuris galima įvairyti į vamzdį darčiau ar mažiau pagal smulkia skalę. Ant stiklo stiebo galo pritaisyta nedidelė kamera R su radio preparatu — α -dalelių išteklis. Kitas vamzdžio galas uždarytas dangteliu su skylė S . Šita skylė akliai uždengiama plona stiklo plokšte, kuri iš vamzdžio pusės aptepta plonu vilmenito (cinko silikatas) sluoksniu. Ties S pastatytas mikroskopas. Vilmenitas rodo fluorescencijas, kada jį suduoda α -dalelė arba kita kuri elektriška dalelė. Kiekvienas smūgis duoda žybtelėjimą. Tie žybtelėjimai arba scintilacijos sekami žiūrint pro mikroskopą.

Čia tas pats scintilacijų metodas, kurį Rutherfordas vartojo, sekdamas 1912 m. α -dalelių išsklaidymą prasiskverbiant joms per plonas metalų plokštes. Taigi ir 1 pav. aparatas konstruotas panašiai, kaip išsklaidymo aparatas.

Skylę S prieš uždengiant ją stiklo plokšte galima uždengti storesne ar plonesne aluminio plokšte, kad visai sulaukėtų elektrinės dalelės, taip kad jos nepasiektų vilmenito filmo. Taigi, tam tikro storumo aluminio plok-

štelė atstoja atatinkamo storumo oro sluogsni ir suteikia galimybės nustatyti elektrinių dalelių nuotolį arba energiją.

Išmetamų radžio preparato R α -dalelių nuotolis buvo žinomas. Paprastai, radžio preparatai išmeta įvairių nuotolių α -daleles. Tai įrodymas, kad ir branduolyje mes turime energijos lygsnio, arba potencialo, barjerus. Bet uždengus kamerą R tam tikru filtru (taip pat aluminio plokštele) buvo praleidžiamos į vamzdį tik tam tikro nuotolio α -dalelės.

Dabar prileidžiame vamzdį T žemo spaudimo vandenilio dujomis ir žiūrėdami pro mikroskopą, sekame scintilacijas. Visų pirma šitas scintilacijas sudaro žinomo mums nuotolio α -dalelės. Bet suduodamos vandenilio molekulės α -dalelės jonizuoja vandenilį. Jei taip, tai vandenilio jonai, pasiekę vilmenito filmą, taip pat turi sudaryti scintilacijas. Kaip atskirti α -dalelių ir vandenilio jonų arba protonų scintilacijas? Mes žinome α -dalelių nuotolį ir todėl uždaroame vamzdžio skylę S tokio storumo aluminio plokštele, kad ji sulaukytų α -daleles. Ant šitos aluminio plokštelės uždėta stiklo plokštelė su vilmenito filmu. Žiūrėdami dabar pro mikroskopą matome scintilacijas. Bet šitų scintilacijų priežastis yra nebe α -dalelės, bet kažin kokios kitos elektrinės dalelės. Spėjame, kad tai protonai. Didiname aluminio plokštelės storumą, kol ir šitos scintilacijos išnyksta. Tam reikalui mes turime kolekciją labai plonų (0,05 mm storumo) aluminio plokštelių, kurias sudedant galima gauti reikiamo storumo aluminio plokštelę. Taigi, tuo būdu mes nustatome spėjamų protonų nuotolį. Išeina 28 cm (oro sluogsnio storumas), tuomet kai žinomas mums α -dalelių nuotolis tik 6–7 cm.

Kad galutinai įsitikintum, jog antrinės, scintilacijas sudarančios dalelės, tikrai yra protonai, mes tame pačiame vamzdyje darome žinomą J. Thomsono bandymą, būtent, atlenkiame elektriškai užtaisytas daleles magnetiniu lanku ir kompensuojame šitą atlenkimą elektrostatinio lauku, kuris veikia priešinga kryptimi. Gauname dvi lygtis:

$$1) Hev = \frac{mv^2}{r} \text{ (magnetinio lauko efektas)}$$

$$2) Xe = Hev \text{ (elektrostatinio lauko kompensuojamas efektas).}$$

Šitose lygtyse H—magnetinio lauko stiprumas gausais, e—elektr. dalelės krovinsys, v—dalelės greitumas, m—jos masė r—magnetinio atlenkimo kreivės stipinas ir X—elektrostatinė jėga (potencialo gradientas). Iš šitų dviejų lygčių gauname $v = \frac{X}{H}$ ir e/m (elektrocheminis dalelės ekvivalentas) $= \frac{X}{rH^2}$. Šituodu dydžiu v ir e/m nedvejotinai apibūdina dalelės prigimtį. Tuo būdu įsitikiname, kad α -dalelės, veikdamos vandenilio molekulės, jas suskaldo ir sudaro 28 cm nuotolio protonus. Tai didelės energijos protonai.

Padaręs šį bandymą Rutherfordas iš vamzdžio T išvarė vandenilį ir prileido vamzdį azoto dujų tam tikro žemo spaudimo. Taigi, dabar α -dalelėmis buvo bombarduojamos azoto molekulės. Rutherfordas sekė scintilacijas, kaip jau aprašyta. Scintilacijos nesiliovė, kada Rutherfordas atatinkamo storumo aluminio plokštele sulaukė α -daleles. Vadinasi, dabar vilmenito ekraną veikė kažin kokios kitos elektrinės dalelės. Pašalinus jų veikimą atitinkamo storumo aluminio plokštele, iš tos plokštelės storumo buvo suskaičiuotas dalelių nuotolis. Rasta 40 cm. Kokios gi čia galėjo būti dalelės, azoto jonai ar kas kita? J. Thomsono metodu, t. y. magnetiniu ir elektro-

statiniu atlenkimais Rutherfordas konstatavo, kad šitos didelio nuotolio (didelės energijos) dalelės yra protonai. Kadangi vamzdyje T vandenilio nebuvo nė pėdsakų, tai protonai galėjo atsirasti tik iš azoto branduolio. Vadinas, α -dalelės, bombarduodamos azoto atomus, išmuša iš azoto branduolių protonus. Nesuprantama buvo iš pradžios, kodėl išmuštų protonų energija yra žymiai didesnė už α -dalelių energiją, kuriomis azoto atomai buvo daužomi. Tai prieštaravo energijos tvarumo dėsniui. Bet šitas paradoksas buvo išspręstas kaip pamatysime vėliau.

Tam tikrais samprotavimais Rutherfordas priėjo išvadą, kad, išmušus iš azoto branduolio vieną protoną, α -dalelė jungiasi su likusia branduolio dalimi ir sudaro naują atomą atominio skaičiaus 8 ir atominės masės 17. Bet tai yra deguonies isotopas. Šią išvadą vėliau patvirtino pats Rutherfordas ir kiti tiesioginiais spektroskopiniais stebėjimais, kuriais buvo įrodytas deguonies buvimas tokiam vamzdyje, kuriame azotą bombarduoja α -dalelės.

Azoto atomo suskaldymas α -dalelėmis buvo įrodytas ir kitu metodu, apie kurį mes dabar ir pakalbėsime. Iš pradžios Cavendish'o laboratorijoje Kembridže atomų skaldymas α -dalelėmis buvo sekamas aprašytu čia Rutherfordo aparatu. Įdomu, kad Rutherfordas konstruavo savo aparatą 1912 metais, kad skaičiuotų išmetamas radžio α -daleles, kad surastų, kiek 1 gramas radžio išmeta α -dalelių per 1 sekundę. Išmatavęs Faraday'aus kameroje išmestų dalelių krovinį, jis suskaičiavo vienos α -dalelės elektros krovinį. Kitas metodas, apie kurį čia bus kalba, remiasi vadinama Wilson'o rūkų kamera, kuri buvo išrasta dar prieš Rutherfordo aparatą, kad suskaičiuotų elektronus, nustatytų jų visų neigiamos elektros krovinį ir tuo būdu surastų vieno elektrono elektros krovinį.

Wilsono kamera remiasi jau seniai Aitken'o padarytu pastebėjimu, kad persotinti (arba, kitaip sakant, peršaldyti) vandens garai labai greitai ir lengvai kondensuojasi ant dulkių dalelių. Wilsonas pastebėjo, kad pašalinus iš oro dulkes, vandens garų kondensacija įvyksta tik tada, kada ore tuo ar kitu būdu susidaro elektriškai užkrautos dalelės, t. y. jonai.

Vadinas, ant jonų taip pat greitai ir lengvai kondensuojasi peršaldyti vandens garai, panašiai kaip ant dulkių dalelių. Apie kiekvieną joną susidaro vandens mikroskopiškas lašelis. Visi tie lašeliai ir sudaro rūką. Jei dabar į Wilsono kamerą paleisti α -daleles arba elektronus, tai tos dalelės pakeliui jonizuoja oro molekules, taip kad paeiliui apie kiekvieną joną susidaro vandens lašelis. Slenkant elektronams arba α -dalelėms, mes gauname jų taką lašelių eilių pavidalu. Taigi, nušvietę išorine šviesa tas lašelių eiles, galime jas nufotografuoti ir fotografijoje savo akimis pamatyti α -dalelių, arba elektronų, arba kitų kokių elektrinių dalelių takus ir net atlikti kaikuriuos svarbius matavimus, pav. dalelių nuotolius išmatuoti.

Pati Wilsono kamera yra stiklo cilindris taip konstruotas, kad jis galima būtų evakuoti ir prileisti oro ar kitų kurių dujų palyginti žemo spaudimo. Be to, toje kameroje galima palaikyti tam tikrą sočių vandens garų spaudimą ir atitinkamu prietaisu atlikti staigią oro arba kitų dujų kameroje ekspansiją. Tad vandens garai darosi persotinti arba peršaldyti ir beveik akimirka kondensuojasi, jei kameros dujose yra jonų. Tų jonų elektros kroviniams išmatuoti, kamera aprūpinama dar dviem metaliniais elektrodais, tarp kurių sudaromas tam tikras elektrinis laukas, pridėjus prie elektrodų žinomą potencialų skirtumą.

Wilsono kameros metodas pakankamai tikslus ir daug paprastesnis už Rutherfordo metodą. Todėl šiandien jis beveik išimtinai vartojamas sekant jonizacijos ir atomų desintegracijos procesus. Vėliau mes aprašysime dar Geigerio-Müllerio skaitiklį, kuris taip pat vartojamas tam pačiam tikslui, bet ne taip plačiai kaip Wilsono kamera.

2 pav. atvaizduoja α -dalelės ir elektrono takus, nufotografuotus Wilsono kameroje. Apatinė tiršta linija — tai α -dalelės takas. Ji, palyginti, sunki dalelė ir didelės kinetinės energijos. Todėl jos susidūrimas su oro arba kitų dujų molekulėmis nepajėgia atlenkti jos iš tiesialinio kelio. Viršutinė zigzaginė kreivė — tai elektrono takas. Elektronas yra lengviausia elektrinė dalelė ir todėl, nepaisant jos labai didelio greitumo, jos kinetinė energija žymiai mažesnė už α -dalelės kinetinę energiją. Todėl, susidurdamas su molekulėmis, elektronas išmušamas iš kelio tiesia linija. Jo trajektorija eina zigzagais.



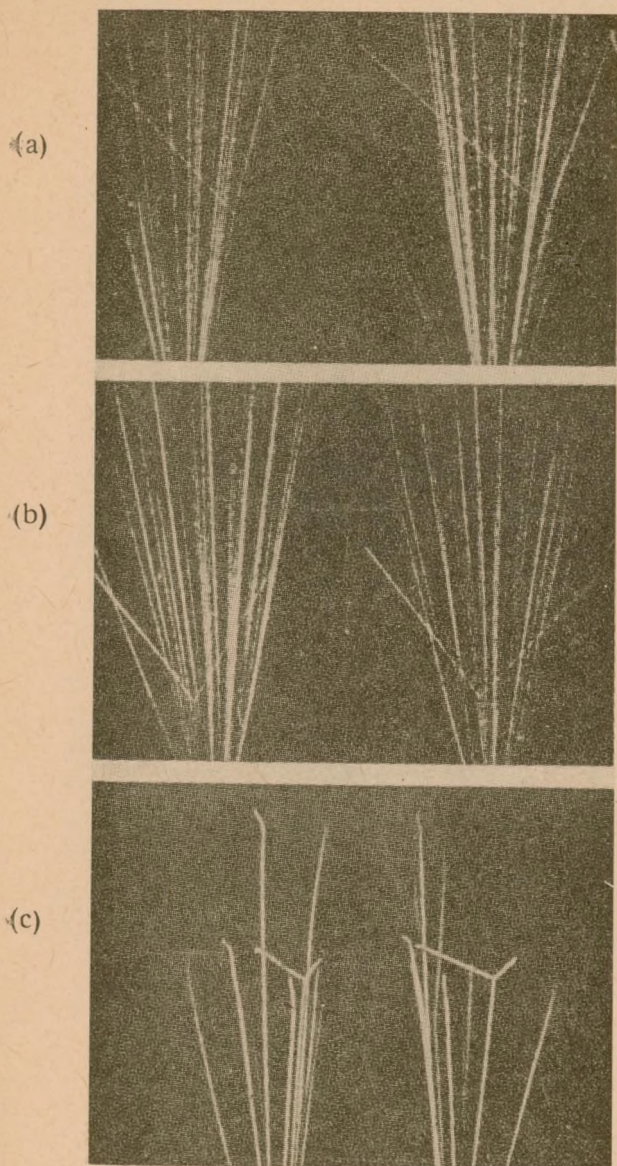
2 pav. Elektrono ir α -dalelės takai Wilsono kameroje

Taigi aišku, kad su pagalba Wilsono kameros galima sekti susidaužimų elektrinių dalelių su atomais bei molekulėmis, ir šitą procesą fotografuoti. Taikydami elastingo susidaužymo (kolizijos) dėsnius ir matuodami ant fotografijos kampą, kurį sudaro atšokusios nuo viena kitos dalelės, ir jų kelių ilgį posusidaužymo, mes galime suvokti susidaužusių dalelių masių ir greitumų santykius. Jei vienos susidaužusių dalelių masė ir greitumas mums žinomi, tai galime suskaičiuoti kitos dalelės masę ir greitumą. Pagrindiniai elastingo susidaužymo dėsniai, kuriais vadovaujamasi tokiais atvejais, yra šie:

1) Suma dalelių momentų prieš susidaužimą turi būti lygi sumai jų momentų po susidaužymo;

2) Suma dalelių kinetinių energijų prieš susidaužimą turi būti lygi jų kinetinių energijų sumai po susidaužymo.

Žodžiu, elastingam susidaužimui galioja momento ir kinetinės energijos išlaikymo dėsniai. Be to, reikia turėti galvoje, kad susidaužusios dalelės atšoka nuo viena kitos tiesia linija priešingomis kryptimis (180° kampas), kada mes turime vadinamą centrinį susidaužimą, t. y. kada jungianti dalelių centrus linija sutampa su jų judėjimo linija. Visais kitais atvejais, kada mes turime necentrinį susidaužimą, atšokusių dalelių takai gali sudaryti kampą tarp 0° ir 180° . Paprastai, ant fotografijos matuojama kampas, kurį sudaro žinomos masės ir žinomo greitumo sudavusios dalelės judėjimo kryptis prieš susidaužimą su tos pačios dalelės judėjimo kryptimi po susidaužymo. Žinant šitą kampą ir remiantis elastingo susidaužymo dėsniais, suskaičiuojama suduotos dalelės masė ir greitumas.



3 pav. Elastingas α -dalelių susidaužimas su vandeniliu (a), su heliu (b) ir su deguonim (c).

Šitokios fotografijos tiekia progos kiekybiškai sekti dalelių susidaužimą, t. y. suskaičiuoti dalelių mases ir greitumus, išmatavus jų takų ilgius po susidaužymo ir kampus tarp tų takų.

3 pav. duoda dalelių elastingo susidaužymo Wilsono kameroje tris fotografijas. Viršutinė fotografija (a) atvaizduoja α -dalelių susidaužimą su vandenilio atomais. Čia matome, ypatingai ryškiai dešinėje fotografijos pusėje, kad α -dalelė yra tik silpnai atsilenkusi (apie 14°) nuo savo kelio tiesia linija prieš susidaužimą su vandenilio atomu. Užtat protonui suteiktas didelis greitumas kryptimi aukštyn į kairę pusę (ilgoka linija, nuožulniai perkertanti α -dalelių takus).

Vidurinė fotografija (b) atvaizduoja α -dalelių susidaužimą su helio atomais, vadinasi, su beveik tos pačios masės dalelėmis. Taigi, matome, kad abiejų dalelių takai po susidaužymo yra beveik to paties ilgio ir sudaro beveik vienodus kampus (45°) su α -dalelės judėjimo kryptimi prieš susidaužimą.

Trečioji fotografija, apatinė (c), atvaizduoja α -dalelių susidaužimą su deguonies atomais, kurių masė yra keturius kartus didesnė už α -dalelių masę. Čia, matome, kad α -dalelė yra atsilenkusi kairėn pusėn nuo savo tako tiesia linija prieš susidaužimą kampą 70° , tuomet kai deguonies atomas yra atsilenkęs dešinėn pusėn nuo tos krypties tik 45° kampu. Be to, α -dalelės takas (kairėn pusėn) po susidaužymo yra žymiai ilgesnis, kaip deguonies atomo takas (dešinėn pusėn).

Šito metodo tikslumui patikrinti Blacket'as ir Lea Cavendisho laboratorijoje Kembridže atliko 1 300 000 panašių matavimų. Be abejo, darbas labai nuobodus, bet labai svarbus. Duodame čia palyginimą vandenilio, helio ir deguonies atominių masių santykių, nustatytų chemikų analitiniais metodais, ir Blacketo su Lea apskaičiuotų iš tų atomų susidaužymo fotografijų. Kaip chemijoje priimta, standartinė masė čia eina deguonies atominė masė, t. y. $O=16$.

H	He	O
0,252	1	4 (chem. analitinis metodas)
0,253	0,98	4,18 (Blacket ir Lea).

Taigi matome, kad Wilsono kamerų metodas pakankamai tikslus, nes skirtumai tarp šito metodo ir chemikų analitinio metodo neišsėina iš klaidų ribų, kurios yra neišvengiamos atliekant bandymus.

Grįžtame dabar prie Rutherfordo eksperimento, prie azoto atomo skaldymo. Šią procesą galima sekti ir Wilsono kameroje. 4 pav. duoda fotografiją α -dalelės susidaužymo su azoto atomu. Čia matome ilgą liniją, kuri nuožulniai kairėn pusėn žemyn perkerta α -dalelių takus. Tai išmuštois azoto branduolio protono takas. Iš to paties taško, iš kurio išeina protono linija, išeina kita tirštesnė, bet žymiai trumpesnė linija, į dešinę pusę aukštyn. Tai azoto atomo skeveldros takas. Kaip jau pasakyta, iš atsilenkimo šito tako nuo pirminio α -dalelės tako, žinant tos dalelės masę ir greitumą, galima suskaičiuoti azoto skeveldros masę. Gaunama 17. Jau sakytu J. Thomsono metodu nustatoma šitai skeveldrai santykis E/M , iš kur eina, žinant M , $E=8$ e. Vadinasi, skeveldros atominis skaičius yra 8. Bet tai reiškia, kad skeveldra yra ne kas kita, kaip deguonies atomo isotopo branduolys.

Tuo pačiu J. Thomsono metodu galima galutinai įrodyti, kad ilgoji skersa linija priklauso protonui. Iš tos linijos didelio ilgio eina, kad išmetami iš azoto branduolio protonai turi labai didelį nuotolį, t. y. pasižymi labai didele kinetine energija, didesne už veikiančios α -dalelės energiją. Kas čia yra? Vėliau pamatysime, kad daužant atomus α -dalelėmis, dažnai atsitinka, kad atomo branduolys pagauna α -dalelę, ji tarytum įklimpsta bran-



4 pav. Azoto branduolio desintegracija, daužant jį α -dalelėmis

duolyje*. To padarinys ir yra atomo branduolio sprogimas. Bet tokiais atvejais visuomet turime perėjimą masės į energiją, kuri ir pasireiškia arba padidinta skeveldros kinetine energija arba γ -spindulių kvanto pavidalu. Taigi, padidinta protonų energija yra tokio perėjimo padarinys. Bet apie tai dar turėsime progos pakalbėti smulkiau.

Iš viso to eina, kad azoto atomo atmaina, bombarduojant jį α -dalelėmis, vyksta šitaip. Azoto atomo branduolys pagauna α -dalelę. Azoto atomo branduolio masės skaičius 14 ir atominis skaičius 7. Tame branduolyje α -dalelei įklampus susidaro kompleksinis branduolys, kurio masės skaičius 18 ir atominis skaičius 9. Bet tasai kompleksas ne pastovus. Jis išmeta vieną protoną. Todėl likusios dalies masės skaičius 17 ir atominis skaičius 8. Bet tai deguonies izotopo branduolys.

Šitą procesą galime išreikšti tokia lygtimi:



Taip rašomos naujosios, arba branduolio chemijos, lygtys. Čia turime branduolių ženklus. Tai atomo arba elemento ženklas su skaitmenimis iš kairės pusės apačioje ir iš dešinės pusės viršuje. Pirmasai skaitmuo (sufiksas) — tai elemento arba atomo atominis skaičius, o antrasai skaitmuo — masės skaičius. Pav., azotas turi 7-tą vietą periodinėje tabelėje ir jo masės skaičius 14. Taigi, azoto branduolio cheminis ženklas ${}_7\text{N}^{14}$; panašiai helio branduolio, t. y. α -dalelės ženklas ${}_2\text{He}^4$, deguonies izotopo branduolio ${}_8\text{O}^{17}$ ir protono ${}_1\text{H}^1$.

Reakcijos tarp branduolių lygtis turi patenkinti šią sąlygą: atominių skaičių suma iš kairės reakcijos lygties pusės turi būti lygi atominių skaičių sumai iš dešinės reakcijos pusės. Toksai pat reikalavimas galioja ir masių skaičių sumoms iš kairės ir iš dešinės reakcijos lygties pusių. Rutherfordo proceso, t. y. azoto atomo suskaldymo α -dalelėmis, lygtis patenkina šituos reikalavimus. Šitoje lygtyje nepažymėta tik energijos apyvarta.

Susipažinę su pirmuoju dirbtinės elemento transmutacijos atveju ir su metodika šitam procesui sekti, dabar žiūrėsime naujų elektrinių dalelių aptikimų, nes be šitų dalelių suŃku bus suprasti kitus dirbtinės elementų transmutacijos ir dirbtinio radioaktingumo atvejus.

2 §. Neutrono, deuterono ir pozitrono aptikimai

Neutronas

Azoto atomo suskaldymas α -dalelėmis paskatino fizikus pamėginti suskaldyti ir kitus atomus, bombarduojant juos α -dalelėmis. Visų pirma panašūs mėginimai buvo toliau dirbami Kembridže, Cavendisho laboratorijoje, Rutherfordui vadovaujant. Kiek vėliau šitas darbas buvo pradėtas Paryžiuje, Sorbonos Radžio Institute, kuriam vadovavo radj aptikusi ponja Curie-Skladowska, o jai mirus (1934 VII 4), jos duktė Irena Curie (g. 1897 m.) su savo vyru prof. Joliot'u — abudu rimti fizikai. — Taip pat ir kitų kraštų mokslininkai nepanorėjo atsilikti, ypač Jungt. Amerikos Valstybių ir Vokietijos fizikai.

* Ant fotografijos mes turime tik vieną susidaužymą, todėl kad iš milijono α -dalelių tik viena kita pataiko į azoto branduolį.

1932 m. pradžioje du vokiečių fizikai Giessen'o universitete, būtent, Bothe ir Becker'is bombardavo α -dalelėmis berilio atomus ir pastebėjo, kad tokiais sąlygomis berilis leidžia nepaprastai didelės prasiskverbimo galios radiaciją. Jiedu manė, kad tai labai kieti γ -spinduliai, kurie susidaro kaip rezultatas α -dalelės įklimpimo berilio branduolyje. Todėl tiriamo proceso lygtį jie rašė šitaip: ${}_4\text{Be}^9 + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_6\text{C}^{13} + h\nu(\gamma)$.

Čia $h\nu(\gamma)$ -radiacijos kvantas (h Plancko konstanta, ν radiacijos dažnumas). Vadinasi, Bothe ir Beckeris manė, kad berilio branduolys, pagavęs α -dalelę, virsta anglies atomo isotopo branduoliu, atpalaiduodamas γ -radiaciją.

Šituos bandymus pakartojo Irena Curie-Joliot ir jos vyras prof. Joliot Paryžiuje. Bet jiedu pamėgino praleisti atpalaiduotą γ -radiaciją per parafino sluogsni. Kaip rezultatą jiedu gavo didelio nuotolio, būtent, 26 cm, protonus. Tokio nuotolio protonų energija yra $5,7 \cdot 10^6$ e. v. (e. v. reiškia elektron-voltą).

Abu Joliot'ai manė, kad čia protonai išmušami iš parafino, kuris yra gausingas vandenilio atomais, γ -radiacijos fotonų ($h\nu$) susidaužymais su vandenilio atomais (fotonų susidaužimai su elektronais arba su kitomis elektrinėmis dalelėmis vadinami Compton'o susidaužymais). Joliotai parodė, kad šitie neva γ -fotonai išmuša protonus ir iš kitų medžiagų, kuriose yra vandenilio, pav., iš vandens.

Tais pačiais 1932 m. tik vėliau šitiems bandymams atsidėjo ir Chadwick'as, vienas rimčiausių Rutherfordo bendradarbių Kembridže. Joliotų interpretacija berilio bombardavimo α -dalelėmis rezultatų Chadwickui pasirodė neįtikinanti. Jam atrodė keista, kad fotonai, kurių masė begalo maža, išmuša protonus tokios didelės energijos. Siekdamas tikslumo, jis išmatavo išmetamų protonų energiją ir tariamų γ -fotonų išjudintų azoto atomų energiją. Protonams jis gavo $5,7 \cdot 10^6$ e. v., o azoto atomams $1,2 \cdot 10^6$ ev. Šitų dydžių atsirėmęs jis suskaičiavo veikiančių γ -fotonų energiją. Gavo $55 \cdot 10^6$ e. v. ir $90 \cdot 10^6$ — du nesuderinamu dydžiu, o turėjo išeiti tas pats dydis. Be to, Chadwickui pasirodė šita γ -fotonų energija nepatikimai didelė.

Šitokios padėties akivaizdoje Chadwickas griebėsi alternatinės hipotezės. Jis priėjo išvadą, kad bombarduojamo α -dalelėmis berilio leidžiamoji radiacija susideda ne iš elektromagnetinių bangų, bet iš korpuskulių. Šitos korpuskulos pasirodė turinčios nepaprastai didelės prasiskverbimo galios.

Jos prasiskverbia per tokio storumo švino sluogsnius, kurie visiškai sulaiko ne tik α -daleles, bet ir elektronus. Apskritai, apsupanti branduolį elektronų atmosfera neturi nei mažiausios įtakos šitų korpuskulių judėjimui, nė kiek ne mažina jų greitumo, t. y. jų neabsorbuoja, tuo tarpu kai α -dalelės ir elektronai absorbuojami proporcingai medžiagos tankumui, nes eksbranduolinių elektronų skaičius yra proporcingas branduolio masei. O kalbamų korpuskulių judėjimą sustabdo tik branduoliai. Branduolyje jos dažniausiai įklimpsta. Iš viso to Chadwickas padarė išvadą, kad šitos korpuskulos elektriškai neutralios ir todėl pavadino jas neutronais.

Kai dėl neutronų masės, tai Chadwickas padarė prielaidimą, kad ji tokio pat didumo, kaip protono masė. Tad ir neutrono energija turi būti tokio didumo, kaip protono energija, kurią išmeta neutronas iš parafino, būtent: $5, 7 \cdot 10^6$ e. v. Pradėdamas nuo tokio prielaidimo, Chadwickas suskaičiavo energiją azoto atomų, išjudintų neutronų smūgiais ir gavo $1, 4 \cdot 10^6$ e. v.

Kaip jau matėme, Chadwicko išmatuota tokių azoto atomų energija yra 1, 2. 10^6 e. v. Taigi, skirtumas tarp išskaičiuotos ir išmatuotos azoto atomų kinetinės energijos neperdidelis, ir todėl galima laikyti šią rezultatą esant Chadwicko prileidimo tikrumo irodymą.

Bet kaip išmatuoti neutronų masę? Jų jonizacijos galia yra labai menka. Pav. protonas jonizuoja 20 000 molekulių per 1 cm savo tako, o neutronas tik 1 molekulę per 2—3 metrus savo tako. Vadinasi, neutronai neduoda takų Wilsono kameroje ir todėl jie labai sunkiai pagaunami. Paspukę iš branduolio neutronai elgiasi kaip vaiduokliai. Bet jie suteikia smugius protonams, helio ir azoto branduoliams, o šitų dalelių atatrunkos takus galima nufotografuoti Wilsono kameroje. Iš tų takų ilgio galima spręsti apie neutronų nuotolį ir jų masę. Neutrono masė gaunama 1,0085, tuo tarpu kai protono masė 1,0072. Tai taip pat pateisina Chadwicko spėjimą.

Tenka čia pabrėžti, kad jei bombarduojamo α -dalelėmis berilio leidžiamą radiacija būtų elektromagnetinė, kaip X-, arba γ -spinduliai, tai ji turėtų jonizuoti dujas. Bet to nėra. Vadinasi, mes čia turime radiaciją, kuri susideda iš elektriškai neutralių dalelių.

O kokia neutrono sudėtis ir struktūra? Tenka manyti, kad ir neutronas, panašiai kaip vandenilio atomai, susideda iš protono ir elektrono. Tik neutrone šitiedvi dalelės daug labiau suglaustos kaip vandenilio atome, taip kad teigiamas ir neigiamas elektros kroviniai daug tobuliau neutralizuoti. Elektrono atstumas nuo protono vandenilio atome yra $0,5 \cdot 10^{-8}$ cm, tuomet kai neutrone tasai atstumas yra apie 10^{-12} cm. Vadinasi, neutroną stipinas toksai pat, kaip vidutiniškas branduolių stipinas ir todėl neutroną galima laikyti paprasčiausios sudėties neutraliu branduoliu. Jam duodamas ženklas ${}_0n^1$. Tai, taip sakant, periodinės tabelės nulinis elementas (atominis skaičius=0). Įdomu prisiminti, kad Mendeliejevas svajojo apie tokį elementą, kada jam teko papildyti savo periodinę tabelę nuline grupe. Jis laikė, kad tasai elementas yra žymiai lengvesnis už vandenilį ir pavadino jį newtoniu. Bet kaip matome, Mendeliejevo svajonė žymiai apsilenkia su tikrove masės atžvilgiu.

Po viso to mes galime parašyti berilio bombardavimo α -dalelėmis proceso lygtį: ${}_4\text{Be}^9 + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_6\text{C}^{12} + {}_0n^1 + E$ (Chadwicko lygtis). Čia E reiškia proceso energijos balansą. Taigi, čia berilio branduolys pagauna α -dalelę, išmeta neutroną ir virsta anglies atomo branduoliu.

Pagaliau nurodysime čia dar vieną labai įdomų ir svarbų neutronų ypatumą. Kaip jau matėme, elektrines daleles, X- ir γ -spinduliai, paprastai, absorbuojami juo smarkiau, juo tankesnė absorbuojanti medžiaga. Neutronai absorbcijos atžvilgiu elgiasi visiškai priešingai. Jų nesulaiko centimetro storumo švino sluogsnis, bet juos visai absorbuoja 1 m/m storumo kadmio sluogsnis. Aluminis taip pat smarkiai absorbuoja neutronus; taip pat ir visos medžiagos, kurių sudėtyje yra vandenilio. Atrodo taip, kad lengvesni atomai neutronus absorbuoja geriau, kaip sunkesni atomai. Dalykas čia toks, kad neutroną stabdo (mažina jo greitumą) tik atomų branduoliai. Bet juo lengvesni atomai, juo daugiau tokių atomų branduolių 1 cm^3 medžiagos. Pav., savaimi aišku, kad 1 cm^3 deguonies branduolių 16 kartų mažiau kaip 1 cm^3 vandenilio. Tad suprantama, kad vandenilis daug smarkiau ab-

sorbuoja neutronus, kaip deguonis. Tuo remiasi lėtų neutronų gavimas. Greiti, energingi neutronai, leidžiami per parafiną, arba per vandenį, apskritai per medžiagą, gausingą vandeniliu. Gauti lėti neutronai pasirodo daug veiklesni, kaip greit neutronai. Tai keista, bet suprantama, atsižvelgiant į tai, kas čia pasakyta apie neutronų absorbciją.

Atrodo taip, kad svarbiausioji neutrono funkcija — įklimpti branduolyje. Tai neelastingas susidaužymas. Toksai branduolys arba sprogsta, duodamas du naujų branduolių, arba jis daro įklimpusį neutroną savo nuosavybe, ir tada turime naują branduolį, būtent to paties atomo isotopo branduolį. Bet susidaužymas neutrono su atomo branduoliu, gali būti ir elastingas. Tada suduotas branduolys išsigyja energijos ir pereina į aukštesnę energijos lygmę. Jis darosi sužadintas. Grįždamas į normalę padėtį jis atiduoda γ -radiacijos kvantą.

Tai tokia trumpais bruožais neutrono atsiradimo istorija. Bet šitoje istorijoje yra dar viena graži pamoka. Bothe ir Beckeris pražiopsojo neutroną. Pražiopsojo šitą vaiduoklį ir abudu Joliotai. Bet Chadwickas šitą vaiduoklį sučiupo, pasimokęs iš savo pirmatačių, čia sakyty fizikų klaidų. Ne be reikalo kolegos Kembridže pravardžiuoja Chadwicką detektivu. Chadwickui 1935 metais pripažinta ir Nobelio premija už neutrono aptikimą. Tai gerai, kada tą patį vaiduoklį medžioja ne vienas mokslininkas, bet keletas. Vieniems nesiseka, už tat kitiems pasiseka.

Deuteronas ir sunkusis vandenys

Tais pačiais 1932 metais buvo surastas ir deuteronas. Tai deuterio, vandenilio izotopo, branduolys. Dalykas čia toks, kad chemikai analitiniais metodais nustatė vandeniliui atominę masę 1,008 iš atžvilgio į standartą $0 = 16$, o Aston'as savo masių spektrografu 1,0078. Skirtumas menkas. Bet kai kas iš fizikų susidomėjo šituo skirtumu ir priėjo išvadą, kad šitą skirtumą galima išaiškinti vandenilio izotopo masės 2 buvimu. Pradėta ieškoti spektroskopiškai, pradedant nuo nuostato, kad branduolio masė turi įtakos, kad ir labai mažos, spektro linijų bangų ilgiams arba dažnumams. Vadinas, tarp vandenilio spektro tam tikros serijos linijų ir tos pačios serijos deuterio linijų turi pasireikšti šioks toks skirtumas, kad ir labai maža linijų perštūma, nustatoma geru spektrometru.

Kaip žinoma, Bohr'as išvedė formulę Rydbergo konstantai $R = \frac{2\pi^2 me^2 Z^2 e^2}{ch^3}$, kuri figuruoja elementų spektrų linijų bangos ilgių arba dažnumų formulėse ($\nu = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$). Vandeniliui $R = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3}$, nes Z — atominio skaičius — vandeniliui $= 1$. Iš šitos formulės vandeniliui suskaičiuojama $R = 109737$ (tai bangų skaičius viename centimetre didžiausio dažnumo linijos Lyman'o serijos, kada $n_1 = 1$ ir $n_2 = \infty$). Ta pati konstanta, nustatyta spektrometriniais tyrinėjimais $R = 109678$. Skirtumas taip pat menkas, bet jis privertė Bohrą įvesti pataisą jo suskaičiuotai konstantai R , kad ji sutaptų su eksperimentine konstanta. Bohras surado reikiamą pataisą vadovaudamasis šiais sumetimais. Sistemoje Žemė-Mėnulis Mėnulis sukasi aplink Žemę. Bet tos pačios gravitacijos jėgos įtakoje ir Žemė su-

kasi aplink Mėnulį. Vadinasi, abudu kūnai sukasi aplink jų dviejų bendrą masės centrą, kurio padėtis surandama iš santykio $\frac{Mm}{M+m}$. Čia M —Žemės masė, o m —Mėnulio masė. Bet į sistemą Žemė-Mėnulis yra panašus vandenilio atomas. Čia taip pat elektronas sukasi aplink protoną ir protonas aplink elektroną elektrinės traukos jėgos įtakoje. Vadinasi, abudu sukasi aplink jų bendrą masės centrą, kurio padėtis apibūdinama santykiu $\frac{Mm}{M+m}$ (tai vadinamoji redukuota masė), kur M protono masė ir m elektrono masė. Vadinasi, Bohro suskaičiuotą Rydbergo konstantą $R = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3}$ reikia padauginti iš $\frac{M}{M+m} = \frac{1}{1 + \frac{1}{1850}}$, kad išeitų tikra eksperimentinė kon-

stanta. Deuteriui šita konstanta R reikia padauginti iš $\frac{2}{2 + \frac{1}{1850}}$. Taigi, vandeniliui šita konstanta yra $\frac{R}{1 + \frac{1}{1850}}$, o deuteriui $\frac{R}{1 + \frac{1}{2 \cdot 1850}}$.

Aišku, kad paskutinyasis dydis yra didesnis už pirmąjį. Vadinasi, deuterio serijos ribos arba kraštutinės linijos dažnumas yra didesnis kaip vandenilio serijos. Kitaip sakant, deuterio spektro linijų bangos yra trumpesnės, kaip vandenilio spektro linijos. Jei suskaičiuoti, išeina skirtumas $1,5 \text{ Å}^{0**}$. Taigi, maždaug tokio didumo išeina deuterio spektro linijų perstūma iš atžvilgio į vandenilio linijas. Šių dienų spektrometrai įgalina tokius mažus skirtumus išmatuoti. Taigi, branduolio masės įtaka spektrų linijų dažnumui labai maža. Ji gaunama, Bohro teorinę konstantą padauginus iš trupmenos $\frac{M}{M+m}$. Čia M —branduolio masė, o m —elektrono masė.

Vadovaudamiesi šitais samprotavimais ir suskaičiavimais Kolumbijos universiteto fizikai Urey ir Murphy, ir nepriklausomai nuo judviejų Brickwedde Standartų Biure Vašingtone tyrė skysto vandenilio frakcine destilacija, kad gautų kiek galima didesnės koncentracijos spėjama vandenilio isotopą, nes nuo koncentracijos pareina spektro linijos tirštumas, arba stiprumas. Taigi kiekvienos frakcijos spektras buvo tiriamas geriausiu spektrometru. Pagaliau iš pradžios Lymano serijoje vandenilio spektro, o paskum ir Balmerio serijoje buvo pastebėti vandenilio linijų palydovai, kurių bangos ilgiai atitiko masę 2. Taip buvo surastas sunkusis vandenilis.

Asto n'as nustatė jo atominę masę savo masių spektrografu 2,0136. Jam priimtas ženklas D, todėl, kad jis buvo pavadintas deuteriu dėl savo dvigubos masės iš atžvilgio į paprastą vandenilį. Jo branduolio ženklas, ${}_1\text{D}^2$ arba ${}_1\text{H}^2$. Tasai branduolys, kaip matysime, vaidina šiandien ne mažą vaidmenį kaip šoviny atomams skaldyti. Kadangi jis pats suskyla į protoną ir neutroną, tai aišku, kad jis sudarytas iš protono ir neutrono. Aplink šitą branduolį neutraliame deuterio atome sukasi elektronas.

Bet jei yra sunkus vandenilis, tai turi būti ir sunkus vanduo D_2O molekulinio svorio 20. Tokį vandenį ir gavo tie patys Urey ir Murphy, elektro-

* Čia $\frac{1}{1850}$ yra elektrono masė. ** $\text{Å}^0 = 1 \text{ angströmas} = 10^{-8} \text{ cm}$.

lizuodami paprastą vandenį. Elektralizuojant lengviau išsiskrauna ant katodo paprastas vandenilis, taip kad likusiam vandeny eina didyn sunkaus vandens nuošimtis. Iš 24 280 gramų paprasto vandens elektrolizės gaunama 1 gramas sunkaus vandens (99,9⁰/₀). O vandenilio dujose 4000 atomų tenka sunkaus vandenilio 1 atomas.

Šitas sunkusis vanduo savo savybėmis žymiai skiriasi nuo paprasto vandens. Jis 11,2⁰/₀ sunkesnis už paprastą vandenį. Jo stingimo taškas 3,8⁰ C ir virimo taškas 101⁰,7. Sočių garų spaudimas temperatūra 100⁰ C tik 721 m/m.

Šitas vanduo šiandien tapo gausingų tyrimų objektu ne tik fizikams ir chemikams, bet ir fiziologams. Jis galima pirkti kaip ir kuri kita prekė. Jį gamina Norvegija, kuri turi pakankamai balto anglies (vandens krioklių), kad gauto produkto kaina būtų prieinama, kam jis reikalingas.

Praeitais metais surastas dar trečias vandenilio isotopas trigubos masės tritonas. Jo branduolį ${}^3_1\text{H}$ sudaro 1 protonas ir 2 neutronai. Ir deguo-

nies žinome tris isotopus: ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$, ${}^4_2\text{He}$. Bet tai reiškia, kad chemiškai gryno vandens yra net 18 rūšių.

Pamanykim tik, kokia čia susidaro komplikacija mokslo matavimų srityje. Juk chemiškai grynas vanduo buvo iki šiol standartinė medžiaga nustatant mases, šilumos ir kaikuriuos kitus vienetus. Ir kokia daugybė naujų tyrinėjimų ir naujų medžiagų laukia chemikų, ypač organikų. Daug jiems bus vargo, bet bus ir didelis pasitenkinimas.

Positronas

Pagaliau 1932 m. buvo surasta dar viena elementarinė elektrinė dalelė, būtent, positronas, tokios pat masės, kaip elektronas, ir su to paties didumo elektros kroviniu, tik priešingo ženklo. Tokios dalelės buvimą fizikai spėjo simetrijos sumetimais. Dirac'o kvantų mechanikos lygtys reikalavo elektrono su teigiamu elektros kroviniu, ir Diracas pranašavo, kad buvimas tokių dalelių Kosme yra būtinas.

Tuo metu Joliot'ai Paryžiuje nagrinėjo smarkių γ -fotonų veikimą įvairių dujų molekules ir gavo visą eilę tokio veikimo fotografijų. Viena tokių fotografijų duoda (5 pav.). Buvo manoma, kad γ -fotonai išmuša iš molekulių elektronus. Veikiant Wilsono kameroje šitų elektronų takai bu-



5 pav. Positrono ir elektrono kreivės, kurios susidaro fotonams susidaužant su dujų molekulėmis

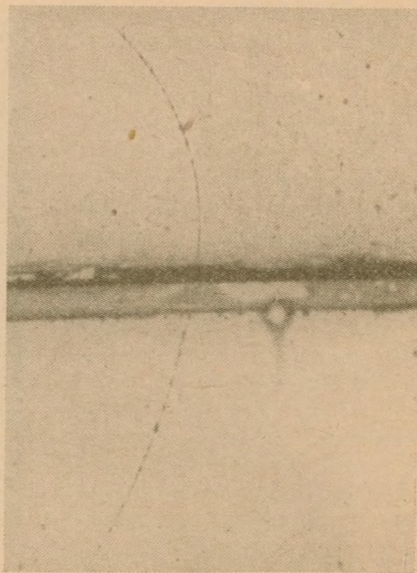
vo fotografuojami. Jų greiuiui v ir santykiui e/m nustatyti juos veikė magnetiniu lauku pagal J. Thomsoną.

Magnetinio lauko kryptis čia nuo stebėtojo stovi statmenai paveiksto plokštumai. Matome ant fotografijos dvejetą kreivių, išeinančių iš to paties taško. Bet viena jų (dešinioji) užsuka pagal laikrodžio rodyklę, o antra (kairioji) prieš laikrodžio rodyklę. Iš abiejų kreivių abiem dalelėm išeina tas pats santykis $e/m = 1,77 \cdot 10^7$ e. m. u. (elektromagn. vienetų) tik priešingo ženklo. Bet kairiosios dalelės greiuiumas didesnis. Iš nurodytos magnetinio lauko krypties eina, kad dešinioji kreivė (pagal laikrodžio rodyklę) priklauso elektronui. Tad aišku, kad kairioji kreivė, prieš laikrodžio rodyklę, priklauso tokiai pat dalelei, tik priešingo elektriško ženklo. Bet Joliot'ai tokios išvados nepadarė, nors turėjo keletą tokių fotografijų su dalelių poromis, sukamų magnetinio lauko priešingomis kryptimis. Jiedu manė, kad tai elektronai. Jiems pasirodė labai keista, kad šitie elektronai sukami magnetinio lauko priešingomis kryptimis, bet apie šitą keistenybę juodu daugiau negalvojo ir paliko klausimą neišspręstą. Matyt, Dirac'o išvedžijimai jiems nebuvo žinomi.

Tuo pačiu laiku Anderson'as Kalifornijos Technologijos Institute fotografavo kosminių spindulių efektą Wilsono kameroje. Tai didžiausios prasiskverbimo galios, vadinasi, didžiausios energijos radiacija, kurios nesulaiko net ir metro storumo švino sluogsnis. Aišku, kad šitos radiacijos fotonai smarkiai jonizuoja dujas, t. y. išmuša iš dujų molekulių elektrines daleles. Veikiant jas magnetiniu lauku ir fotografuojant, gaunami jų takai. 6 pav. atvaizduoja dvi tokias Andersono fotografijas. Ir čia magnetinio



(b)



(c)

6 pav. Positronų ir elektronų susidarymas veikiant kosminiais spinduliais (b), ir Andersono eksperimentas (c).

lauko kryptis nuo stebėtojo eina statmenai fotografijos plokštumai. Ant fotografijos b matome keletą porų kreivių, užsukamų priešingomis kryptimis. Bet tos kreivių poros priklauso dalelėms tos pačios masės ir tokio pat didumo, tik priešingo ženklo elektros krovinio. Kas gi čia yra? Kad gautum atsakymą į šitą klausimą, Andersonas daro dar tokį bandymą: Jis įveda į Wilsono kamerą švino plokštelę 6 m/m storumo, veikia labai smarkiais γ -fotonais ir magnetiniu lauku. Fotografija c atvaizduoja tokio veikimo rezultatus. Čia matome kreivę, kuri perkerta švino plokštelę. Bet tos kreivės viršutinė ir apatinė dalys yra nevienodos nei kreivumo nei ilgumo atžvilgiais. Leiskime, kad ta kreivė priklauso elektronui, kurį magnetinis laukas suka pagal laikrodžio rodyklę. Tad į kreivę reikia žiūrėti iš viršaus žemyn. Iš viršutinės kreivės dalies kreivumo ir ilgumo suskaičiuojama elektrono energija iki jo susidūrimo su švino plokštele. Išeina apie $23 \cdot 10^6$ e. v. Toks pat suskaičiavimas daromas iš apatinės kreivės dalies. Gaunama $63 \cdot 10^6$ e. v. Vadinas, elektronas su $23 \cdot 10^6$ e. v. energijos, perejęs per 6 m/m švino sluogsni, turi $63 \cdot 10^6$ e. v. energiją. Tai nesąmonė. Aišku, kad į kreivę reikia žiūrėti iš apačios aukšty. Bet tada kreivė užsuka prieš laikrodžio rodyklę ir priklauso elektriškai teigiamai dalelei tokios pat masės, kaip elektrono masė. Ir tada visa kas tvarkoje. Teigiamas elektronas, prieš pasiekdamas švino plokštelę, turi energiją $63 \cdot 10^6$ e. v., pereidamas per švino plokštelę nustoja didžiosios savo energijos dalies, ir todėl išėjęs turi tik $23 \cdot 10^6$ e. v. energiją. Tai taip Andersonas sučiupo teigiamą elektroną, kuris buvo pavadintas positronu. Tai atsitiko, praėjus trims mėnesiams po neutrono aptikimo.

Tolimesni tyrinėjimai parodė, kad kosminiai spinduliai visuomet išmeta iš įvairių medžiagų positronus kartu su elektronais, visuomet poromis. Taip pat ir kieti γ -spinduliai išmuša iš sunkiųjų metalų, ypač iš švino, positronus, dažnai kartu su elektronais. Bet išmuštas iš medžiagos positronas turi labai trumpą egzistenciją. Manoma, kad pirmai progai pasitaikius, jis jungiasi su elektronu. Tasai susijungimas arba net susiliejimas atpalaiduoja du energijos kvantu, labai galingu kvantu. Kadangi šitame procese elektronas ir positronas išnyksta, tai mes turime perėjimą masės į energiją pagal Einšteino nuostatą. Todėl suprantama, kodėl taip sunku buvo surasti positroną. Diracas mano, kad toje Kosmo dalyje, kuriai priklauso Saulės sistema, t. y. Paukščių tako saloje, vyrauja elektronai. Galimas dalykas, kad kai kuriose Kosmo dalyse vyrauja positronai. Mūsų sąlygomis positronai pasireiškia kaip rezultatas kai kurių atmainų, kurios vyksta atomų branduolių viduje.

Pataisytas Bohro atomo modelis

Iki 1932 m. fizika žinojo tik dvi elementarines elektrines daleles, protoną ir elektroną. Todėl ir buvo manoma, kad atomų branduoliai yra sudaryti iš protonų ir elektronų. Atsiradus dar dviem elementarinėms dalelėms, neutronui ir positronui, teko pakeisti pažiūrą į atomo branduolio sudėtį bei struktūrą. Dabar manoma, kad atomų branduoliai susideda tik iš protonų ir neutronų. Koks branduolio atominis skaičius, tiek reikia paimti protonų, ir pridėti tiek neutronų, kad kartu su protonais išėitų branduolio masės skaičius. Pav., aluminio atominis skaičius 13 ir masės skaičius 27. Tad aluminio branduolys turi 13 protonų ir 14 neutronų. Urano branduolys turi 92 protonų ir 146 neutronus. Elektronų ryšiai branduolyje nebereika-

lingi, nes traukos jėga tarp protonų ir neutronų sudaro reikalingus branduolio pastovumų ryšius.

Aišku, kad izotopų branduoliai skiriasi tik neutronų skaičiumi. Pav., visų trijų deguonies izotopų branduoliai turi po 8 protonus, bet atomas

$^{16}_8\text{O}$ turi 8 neutronus, atomas $^{17}_8\text{O}$ devynis ir atomas $^{18}_8\text{O}$ 10 neutronų. Vi-

sais atvejais šitie branduoliai yra apsupti 8 išorinių elektronų. To reikalauja atomo elektroneutralumas. Apskritai, visuomet koks yra atomo atominis skaičius, toks ir elektronų skaičius branduolį apsupančioje atmosferoje.

Šitas atomo modelis yra paprastesnis, kaip pirminis Bohro-Rutherfordo modelis ir jau vien todėl tinkamesnis. Iš dviejų hipotezių paprastesnė visuomet turi pirmenybę.

Bet už šią pataisytą atomo modelį yra dar ir kitų rimtų argumentų. Seniai jau buvo žinoma, kad eilinis atomo numeris periodinėje elementų tabelėje yra apytikriai pusė atominės masės lengvesniems atomams ir 0,4 sunkesniems. Savo α -dalelių išsklaidymo bandymais Rutherfordas įrodė, kad tasai eilinis atomo numeris yra lygus branduolio teigiamos elektros elementarinių krovinių skaičiui. Šitas faktas būtų visai nesuprantamas, jei branduolys būtų sudarytas iš protonų ir elektronų. Bet tai gerai derinasi su branduoliu iš protonų ir neutronų. Dalykas čia toks, kad lengvesnių atomų branduoliai turi tokius protonų ir neutronų skaičius, kurie neperdaug skiriasi nuo vienas kito. Kadangi protonų skaičius yra lygus eiliniaam arba atominiam skaičiui, tai tas atominis skaičius ir išeina beveik pusė atominės masės. Sunkesniųjų atomų branduoliai turi žymesnį neutronų perteklių. Todėl jų atominis skaičius ir išeina mažesnis, kaip pusė atominės masės, būtent, apie 0,4. Pav., aluminio atominis skaičius 13 ir atominė masė 27. Ta masė susideda iš 13 protonų ir 14 neutronų. Taigi, tiksliai pusė masės bus 13,5. Imama artimiausias sveikas skaičius. Imama 13, o ne 14, todėl, kad 14-ta vieta periodinėje tabelėje priklauso siliciui. Arba švino atominis skaičius 82 ir atominė masė 207,22. Vadinas, švino branduolys susideda iš 82 protonų ir 125 neutronų, t. y. turi žymų neutronų perteklių. Tad jo atominis skaičius $0,4 \times 207,22 = 82, 89$, apskritai 82.

Yra dar vienas argumentas iš kvantų mechanikos. Labai smulkios struktūros spektro linijų buvimą (hyperfine structurelines) galima išaiškinti tik prileidus, kad branduolys, panašiai kaip elektronai turi spiną (t. y. sukasi apie savo ašį)*. Taigi šita branduolio rotacija kvantinama ir iš palyginimo šitų kvantinimo operacijų rezultatų su spektrometriniais duomenimis, liečiančiais švelniausios struktūros spektro linijas, gaunama branduolio spinas.

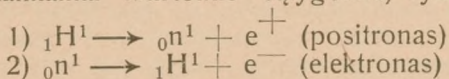
Antrą vertus, protono ir elektrono spinai vienodi, būtent, lygi pusei išreikšto kvantais kampinio momento vieneto, kuris priimtas lygus $\frac{h}{2\pi}$. Jei

branduolys susideda iš protonų ir elektronų, tai pasirėmus adityvumo principu galima suskaičiuoti branduolio spinas. Kvantų mechanika sako, kad branduolio spinas turi būti lygus $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2} \dots$ ir t. t., jei branduolys sudarytas iš nelyginio dalelių skaičiaus. Kada branduolys sudarytas iš lyginio

* „Spin“ — internacinis terminas, reiškias dalelės sukimosi aplink savo ašį.

skaičiaus dalelių, tai jo spinas turi būti lygus 0, 1, 2... ir t. t. Imame kaip pavyzdį azoto branduolį. Einant pirmine Bohro teorija, azoto branduolys susideda iš 14 protonų ir 7 elektronų, vadinasi iš 21 dalelės. Tad jo spinas turėtų būti $\frac{1}{2}$. O iš tikrųjų, iš švelniausios struktūros jo spektro linijų stebėjimų išeina jam spinas lygus 1. Taip ir turi būti, jei azoto branduolys sudarytas tik iš protonų ir neutronų. Tokiu atveju azoto branduolys susideda iš 7 protonų ir 7 neutronų, vadinasi, iš 14 dalelių, t. y. iš lyginio dalelių skaičiaus. Bet tada reikia prileisti, kad ir elektriškai neutralus neutronas turi tokį pat spiną, kaip protonas, būtent $\frac{1}{2}$. Šitokį prileidimą paremia deuterono spinas, kuris iš deuterio spektrometrinių stebėjimų su skaičiuotas lygu 1. Kadangi deuteronas susideda iš 1 protono ir 1 neutrono, tai jo spinas turi būti lygus $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$.

Bet kas daryti su positronais, kur juos dėti, ir iš kur atsiranda išmėtami radioaktingų medžiagų elektronai? Ir positronai, ir elektronai yra giliai pasislėpę branduolio strukturoje. Manoma, kad branduolio viduje tam tikromis, dar nepakankamai ištirtomis sąlygomis, vyksta tokios reakcijos:



Šitos reakcijos ir duoda positronus ir elektronus, kada stebime dirbtines ir natūraliai radioaktingas medžiagas. Bet čia ne visa kas aišku. Susidaro sunkumų su spinais ir su energijos išlaikymu. Šią klausimą mes dar paliesime šio straipsnio gale.

3 §. Cockroft'o ir Walton'o aparatas ir jų bandymas

Masės ir energijos ekvivalentingumo dėsnio patikrinimas. Šios energijos sunaudojimo perspektyvos.

Iki pastarųjų keletos metų elementų transmutacija buvo sekama, bombarduojant atomus α -dalelėmis. Jau matėme, kokia nepaprastai didelė yra α -dalelių kinetinė energija. Bet visų pirma šitų dalelių išteklis rados labai brangus, ir todėl jos sunkiai prieinamos laboratorijoms. Be to, iš milijono α -dalelių į branduolį pataiko tik viena kita. Vadinasi, labai daug energijos tenka išieškoti veltui, kad gautum menką rezultatą. Proceso našumas labai mažas. Tiesa, 1 mg radžio išmeta per sekundę $3,7 \cdot 10^7$ α -dalelių, kaip nustatė savo laiku Rutherfordas. Bet tai reiškia $3,7 \cdot 10^7, 2,1, 6 \cdot 10^{-19} = 1,18 \cdot 10^{-11}$ kulonų per sekundę, arba srovę $1,18 \cdot 10^{-11}$ amperų. Vadinasi, ir elektros kiekio atžvilgiu α -dalelės atrodo nekaip.

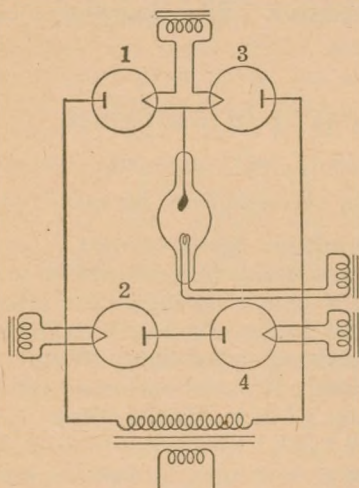
Todėl suprantama, kad visų pirma Cavendischo laboratorijos fizikai, o paskiau ir kiti, ėmė galvoti apie pigesnes, daug labiau prieinamas, elektrines daleles, kaip pav., protonus, ir apie tai, kaip tiems protonams suteikti kiek galima didesnę energiją. Iš pradžios niekas ir svajoti nesvajoto, kad protonams galima būtų suteikti energiją, sakysime, $7,7 \cdot 10^6$ e. v. Tai α -dalelių energija, kurias išmeta radis C. Niekas netikėjo, kad galima būtų gauti nuolatinę srovę labai aukšto įtempimo, sakysime $7,7 \cdot 10^6$ voltų, žodžiu, tokio voltažo protonus, kitaip sakant, atatinkamai didelio greičio. Tokie protonai būtų žymiai pigesni už α -daleles ir iš atžvilgio į energiją galėtų

tas daleles atstoti. Be to, per sekundę galima būtų pagaminti tokių protonų žymiai daugiau, kaip radis išmeta α -dalelių.

Cavendisho laboratorijos žmonės iš pradžios buvo kuklūs savo siekimuose. Atsižvelgdami į Gamow'o, Gurney ir Condon'o teorinius išprotavimus, jie manė, kad ir žemesnių voltažų elektrinės dalelės gali sušaldyti atomų branduolius, nors tokio galimumo tikimybė palyginti ir nedidelė. Sakysime, labai didelis skaičius 500 000 voltų dalelių gali būti toks pat efektingas, kaip žymiai mažesnis skaičius $2 \cdot 10^6$ voltų dalelių. Vadinas, elementų transmutacijos našumas pareina ir nuo elektrinių dalelių skaičiaus ir nuo jų voltažo. Tam tikro duoto dalelių skaičiaus efektingumas bus juo didesnis, juo didesnis voltažas.

Taip galvodami Cavendisho laboratorijos bendradarbiai, Dr. Phil. Cockroftas ir inžin. Walton'as suprojektavo aparatą, kad gautų aukšto voltažo nuolatinę srovę. Jų tikslas buvo pagreitinti protonus ir pamėginti sušaldyti atomus greitais protonais. Nesunku gauti aukšto voltažo kinetaminą srovę, bet tokia srovė negalima pagreitinti dalelių.

Cockrofto ir Waltono aparatas — tai savotiškas transformatorius, kurio pagalba iš didelio voltažo kintamosios srovės gaunama dar aukštesnio voltažo nuolatinė srovė. Tuo pačiu metu jis yra rektifikatorius ir amplikatorius. Tai atsiekama naudojantis elektroniniais vamzdeliais, kondensatoriais ir varžomis. Paaiškinsime šito aparato principą schemomis.



7. pav. Schema aukšto įtempimo nuolatinei srovei gauti iš kint. srovės

7 pav. atvaizduoja schemą, kurios pagalba galima gauti iš didelio voltažo kintamosios srovės didelę voltažo nuolatinę srovę, kad penėtų ją sąmarkiai evakuotą Coulidge'o X-spindulių vamzdį. Jis parodytas schemos vidury.

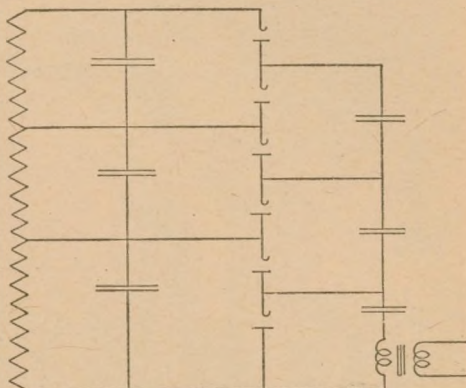
Kaip žinoma, Coolidge'o vamzdis yra labai patogus gausiems X-spinduliams gauti. Čia mes turime volframo vielą, kuri, kaitinama, gausiai leidžia elektronus. Šitie elektronai suduoda vadinamą antikatomą iš platinos arba iš kito kokio sunkaus metalo ir atpalaiduoja X-adiaciją. Taigi, Coolidge'o vamzdis yra ne kas kita, kaip elektroninis vamzdis. Jis praleidžia srovę tik tam tikra kryptimi. Vadinas, prijungus Coolidge'o vamzdį prie stipraus įtempimo transformatoriaus (parodytas schemos apačioje) antrinės špūlės galų, jis praleis tik vienos

periodo pusės srovę, o antros pusės nepraleis. Taigi, taip prijungtas Coolidge'o vamzdis funkcijonuos kaip kintamosios srovės rektifikatorius (lygintuvas), bet su pusės kintamosios srovės voltažo nuostoliu. Kad to išvengtų, Coolidge'o vamzdis prijungiamas ne prie transformatoriaus antrinės špūlės galų, o sujungiamas, kaip parodyta schemeje, su elektroniniais vamzdziais arba gyvsidabrio lygintuvais 1, 2, 3, 4. Coolidge'o vamzdzio vielai ir elektroninių vamzdžių vieloms kaitinti reikalinga srovė imama iš to paties transformatoriaus, apvyniojus ant jo antrinės špūlės keturias mažesnes špūles, gerai isoluotas nuo viena kitos ir tnuo transformatoriaus an-

trinės špūlės. Šitos keturios špūlės parodytos schemoje prie Coolidge'o ir elektroninių vamzdžių, bet faktinai jos randasi transformatorių.

Tokios schemas pagalba galima gauti iš aukšto voltažo kintamosios srovės (sakysime, 400000 voltų) beveik tokio pat voltažo nuolatinę srovę. Voltažo nuostolis vamzdžiuose sudaro čia ne daugiau kaip 20 voltų. Įsižiūrėjus į schemą nesunku suvokti, kad čia elektronų srovė Coolidgeo X-vamzdyje eina visą laiką nuo vielos į taikinį (antikatodą), per vieną kintamosios srovės periodo pusę tarpininkaujant lygintuvams 2 ir 3, o per antrąją periodo pusę, tarpininkaujant lygintuvams 4 ir 1. Tuo būdu iš kintamosios srovės gaunama nuolatinė srovė.

Kadangi norint gauti pagal šią schemą aukšto įtempimo nuolatinę srovę, reikia imti ir kintamąją srovę tokio pat aukšto įtempimo; o kadangi tai turi didelių nepatogumų, tai Cockroftas ir Waltonas sugalvojo šitos schemos variantą, kurį atvaizduoja 8 pav. Čia galima apseiti su, palyginti, neaukšto voltažo kintamosios srovės transformatoriumi ir gauti žymiai aukštesnio (daug kartų aukštesnio) voltažo nuolatinę srovę. Tai atsiekiama kombinuojant atatinkamai kondensatorius ir kenotronus, t.y. elektroninius vamzdžius voltažo sustiprinimui. Taigi, 8 pav. schemoje mes turime 2' baterėjas sujungtų iš eilės kondensatorių ir tarp jų kenotronų ba-



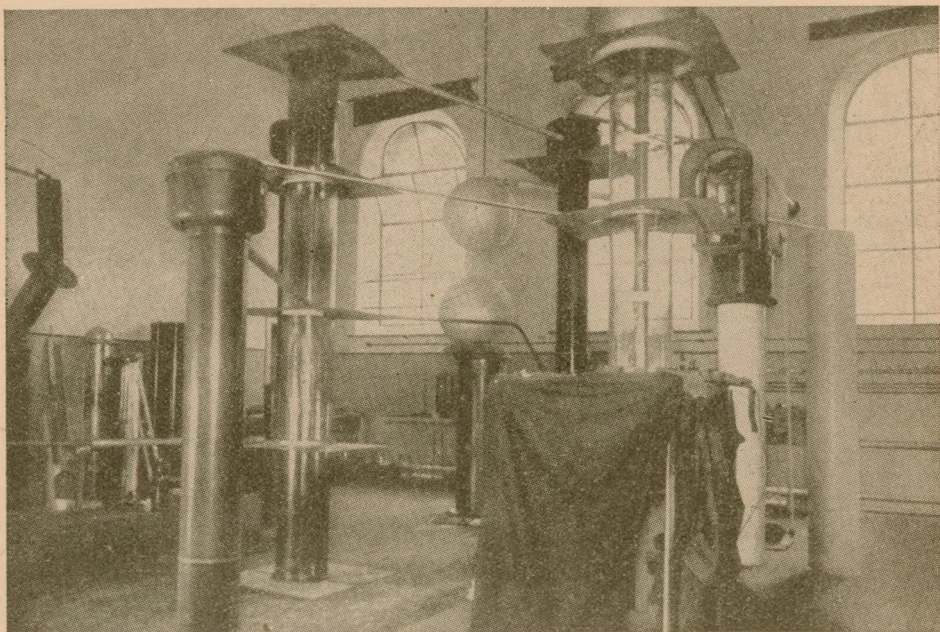
8 pav. Cockrofto ir Waltonso metodas voltažui sustiprinti

turėją, kurie sujungti su kondensatoriais taip, kad tuo pačiu metu jie vaidina ir automatinį perjungėjų ir voltažo sustiprintojų vaidmenį (kenotronai schemoje pažymėti plokštelėmis — bruožais ir vielomis kabliukais).

Šios schemas veikimas šitoks: Iš dešinės pusės, apačioje, turime kintamosios srovės transformatorių, sakysime, 25000 voltų įtempimo. Ne sunku matyti, kad šitas transformatorius užtaiso apatinį kondensatorių iš kairės pusės visuomet tąja pačia prasme: per vieną srovės periodo pusę per laidą, apačioje, kuriuo šitas kondensatorius prijungtas prie transformatoriaus; o per antrą srovės periodo pusę per apatinį kondensatorių iš dešinės pusės ir per apatinį kenotroną, kuris praleidžia srovę tik viena kryptimi, nes elektronų sriaitas jame visuomet eina nuo kaitinimo vielos (kabliuko) į anodą (bruožas). Aišku, kad apatinis kondensatorius iš kairės pusės visą laiką tąja pačia prasme užtaiso per antrąjį kenatroną antrąjį kondensatorių iš dešinės pusės, tasai per trečiąjį kenatroną antrąjį kondensatorių iš kairės pusės, kol bus pasiektas viršutinis kondensatorius iš kairės pusės. Tuo būdu ant kondensatorių tauposi elektra, taip kad tarp viršutinio kondensatoriaus iš kairės pusės viršutinės plokštės ir apatinio kondensatoriaus apatinės plokštės susidaro ytin didelis nuolatinės srovės potencialų skirtumas. Vadinasi, čia turime ir potencialo amplifikaciją ir išlyginimą. Pagal 8 pav. schemą su 6 kenotronais transformatoriaus voltažas padidinamas 6 kartus. Vadinasi, čia gauname $6 \times 25000 = 150000$ voltų nuolatinės srovės. Pir-

mieji bandymai su protonų pagreitinimu ir buvo atlikti su tokiu voltažu. Vėliau Cockroftui ir Waltonui pasisekė pagal aprašytą čia schemą gauti voltažus iki 600000 voltų.

Protonai gaminami elektros išlydžiais dideliame vamzdyje, kuriame randasi vandenilio dujos. Iš čia protonai patenka į kitą 1 metro vamzdį, kur jie smarkiai pagreitinami, pridėjus prie šito vamzdžio galų gautą aukštą potencialų skirtumą. O jau iš šito vamzdžio greitai protonai patenka į Wilsono kamerą arba į kitą atitinkamą indą, kur jais ir bombarduojami atomai.



9 pav. Aukšto įtempimo aparatų kambarys Cavendisho laboratorijoje Kembridže

9 pav. atvaizduoja Cockrofto ir Waltonio instaliaciją vienoje iš Cavendisho laboratorijos salių. Kairėj pusėj priešaky matyt transformatorius, greta viena kondensatorių baterėja, toliau ties antruoju langu antra kondensatorių baterėja, už jos specialiai konstruotas kenotronų stulpas, greta protonams pagreinti vamzdis. Kitos aparaturos dalys uždengtos

Su aprašyta čia aparatura Cockroftas ir Waltonas, kaip jau pasakyta, iš pradžios gavo 150000 e. v. energijos protonus. Šitais protonais jiedu bombardavo sunkesniojo ličio izotopo atomus ir gavo α -daleles didelės energijos, daug didesnės energijos, kaip protonų energija, būtent $8,53 \cdot 10^6$ e. v. Tai buvo pirmasai Cockrofto ir Waltonio bandymas. Bet kaip azoto atomo transmutacijos atveju, taip ir čia pasireiškė tas pats keistas dalykas, būtent, bombardavimo produktų energija pasirodė daug didesnė, kaip bombarduojančių dalelių energija. Šitam paradoksui dabar ir atsidėsime. Tai bus elementų transmutacijos aritmetika.

Rašome Cockrofto ir Waltonų realizuotos dirbtinos transmutacijos lygtį: ${}_3\text{Li}^{7+1}\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4 + \text{E}$. Čia E energijos balansas. Kaip ir chemijos reakcijose, taip ir čia, tas balansas yra lygus reakcijos produktų ir reaguojančių medžiagų energijų skirtumui. Kinetinė energija gautos čia α -dalelės $8,53 \cdot 10^6$ nustatyta J. Thomsono metodu. Kadangi čia susidaro 2 α -dalelės, tai jų abiejų kinetinė energija, $2,8,53 \cdot 10^6 = 17,06 \cdot 10^6$. Dalyvaujančiojo reakcijoje protono kinetinė energija $150\,000$ e. v. Vadinas, praktiškai žiūrint, niekis, palyginus su α -dalelių energija. Todėl mes ignoruojame šią protono energiją ir laikome energijos balansu $E = 17,06 \cdot 10^6$ e. v.

Rašome dabar Cockrofto ir Waltonų reakcijos lygtį branduolių masėmis: $7,0132 + 1,0072 = 2(4,00108) + 17,06 \cdot 10^6$ e. v.

Masės vienetas arba standartinis atomas amerikiečių sutrumpintai pavadintas *statomu*, yra lygus $\frac{0^{16}}{17} = 1$. Tad ličio atomo masė, $7,0148$ ir jo branduolio masė $7\,0146 - 3,0,00054 = 7,0132$, nes ličio atomas turi tris išorinius elektronus, o gramelektronio masė $0,00054$ pagal priimtą standartą.

Vandenilio atominė masė tiksliai yra $1,0078$. Tad protono masė $1,0078 - 0,00054 = 1,0072$. Helio atomo masė tiksliai yra $4,00216$. Tad helio branduolio arba α -dalelės masė $4,00216 - 2,0,00054 = 4,00108$. Šitos branduolių masės ir įrašytos į Cockrofto ir Waltonų ličio transmutacijos lygtį.

Masių suma iš kairės lygties pusės $8,0204$; o iš dešinės $8,00216$. Taigi turime masės nedateklį $8,0204 - 8,00216 = 0,01824$ statomų, įvykus transmutacijos reakcijai.

Atsižvelgdami į senai jau paskelbtą Einšteino masės ir energijos ekvivalentingumo dėsnį — būtina išvada iš Einšteino relativumo teorijos — spėjame, kad šitas masės nedateklis pasireiškia pavidalu α -dalelių kinetinės energijos. Žodžiu, spėjame, kad vykstant ličio transmutacijai įvyksta perėjimas masės į energiją. Pažiūrėkime.

Statomo gram-masė 1 . Tad elementarinė statomo masė $\frac{1}{6 \cdot 10^{23}} = 1,65 \cdot 10^{-24}$ gr. Pagal Einšteiną šita masė yra tolygi energijai $mc^2 = 1,65 \cdot 10^{-24} (3 \cdot 10^{10})^2 = 14,85 \cdot 10^{-4}$ ergų. Išreikšdami šią energiją elektron-voltais, turime $\frac{14,85 \cdot 10^{-4}}{1,59 \cdot 10^{-12}} = 9,31 \cdot 10^8$ e. v. Bet čia turime masės nedateklį $0,0182$ statomų, o tai reiškia energiją elektron-voltais $0,0182 \times 9,31 \cdot 10^8 = 17 \cdot 10^6$. Taigi, išeina dviejų α -dalelių kinetinė energija (išmatuota $17,06 \cdot 10^6$ e. v.). Vadinas, mes čia turime pirmą tikslų Einšteino nuostato eksperimentinį patikrinimą. Taigi, ir Rutherfordo azoto transmutacijos reakcijoje didesnė išmuštų protonų kinetinė energija, kaip α -dalelių energija, yra masės nuostolio rezultatas. Tiktai Rutherfordo reakcijoje mes negalime ignoruoti nei α -dalelių energijos, nei deguonies izotopo branduolio energijos. Ir todėl ten suskaičiavimas komplikotesnis, bet rezultatas visai sudera su Einšteino dėsniu.

Netrukus po Einšteino nuostato paskelbimo vienas kitas fizikas mėgino patikrinti šią nuostatą paprastomis cheminėmis reakcijomis. Pavyzdžiui, Ladenburg'as Berlio Reichsanstaltė pasidirbo sau švytuoklę su lęšiu stiklo indo pavidalu, tokios formos, kad galima būtų sekti švytuoklės švytavimus prieš įvesdinant reakciją tarp dviejų medžiagų ir įvesdinus reakciją. Ištisis metus jis kantriai sekė tokios švytuoklės švytavimus, įvesdindamas

įvairias reakcijas, bet negalėjo konstatuoti masės nuostolio. Dalykas čia toks, kad labai mažas masės kiekis reiškia labai didelį šios imanentinės energijos kiekį. Pav., 10^{-6} gramų reiškia $10^{-6} \cdot (3 \cdot 10^{10})^2 = 9 \cdot 10^{14}$ ergų arba $4,18 \cdot 10^7 =$ apie $2 \cdot 10^6$ kalorijų energijos. Bet paprastų cheminių reakcijų tarpe nežinome tokių, kurios atpalaiduotų milijonus kalorijų šilimos. Taigi, pastangos patikrinti Einšteino dėsni paprastomis cheminėmis reakcijomis yra be vilties.

Bet visai kas kita elementų transmutacijos arba branduolinės reakcijos. Čia atpalaiduojami energijos kiekiai yra tokie nepaprastai dideli, kad sudarant masių ir energijų balansą galima sučiupti masės nuostolį. Todėl visai suprantama, kad tik branduolinės reakcijos davė progos patikrinti masės ir energijos ekvivalentingumo dėsni.

Be to, rašydami transmutacijų reakcijas masėmis ir energijomis, turime galimumo nustatyti nežinomą atominę masę, sakysime, naujo izotopo masę, su dideliu tikslumu. Ypač tai svarbu tais atvejais, kada naujas izotopas pasireiškia chemikui analitikui neapčiuopiamais kiekiais. Taigi čia turime naują ir didelio tikslumo metodą patikrinti atominės masės, nustatomas chemikų analitiniais metodais arba spektrometriniais stebėjimais arba kitu kuriuo būdu. Tai labai svarbu.

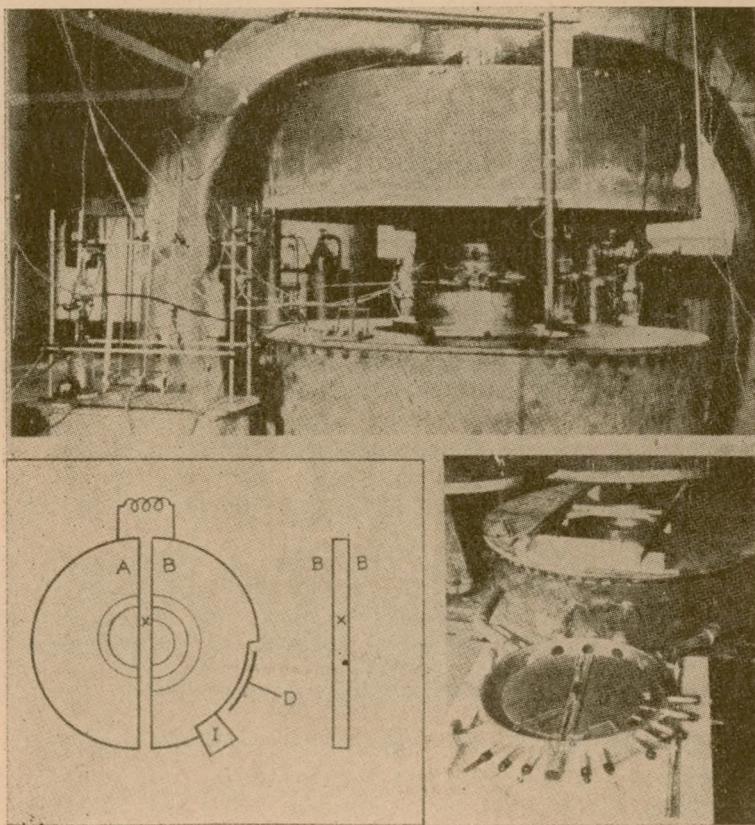
Tenka padaryti dar viena pastaba ličio transmutacijos reakcijos proga. Masės nuostolis pasireiškia čia labai didele dalelių kinetine energija, būtent, $8,53 \cdot 10^6$ e. v. skaitant vienai α -dalelei. Bet tai reiškia α -dalelės greitumą 20000 km/s. Tokių α -dalelių 1 gramo kinetinė energija, kaip jau matėme, yra tolygi šilumai, kuri gaunama, sudeginus 6 tonas geriausios rūšies anglies. Taigi, savaimi braujasi galvon klausimas, ar negalima pasinaudoti šiuo milžinišku energijos ištekliu praktiško gyvenimo, pramonės reikalams.

Tai klausimas, į kurį šiandien duoti atsakymo negalima. Visų pirma, gamyba pakankamai energingų dalelių, kuriomis galima priversti atomų branduolius reaguoti į vienas kitą, kol kas atseina labai brangiai. Be to, kaip jau žinome, iš milijono tokių energingų dalelių pataiko į branduolį tik viena kita. Vadinasi, gaunamas efektas yra susietas su labai didelių energijos kiekių išsklaidymu. Žodžiu, energijos balansas išeina mūsų nenaudai.

Antrasai termodinamikos dėsnis duoda mums aiškių nurodymų, kokiomis sąlygomis galima pakelti našumą proceso, paverčiant šilumą mechaniniu darbu. Branduolio chemija kol kas neduoda mums nurodymų, kaip pakelti elementų transmutacijos našumą. Taigi, klausimas, ar yra galima atominė mašina, šiandien pasilieka atviras. Gal tai ir gerai, nes atominės mašinos atsiradimas reikštų ir atominės bombos atsiradimą. Garsus Anglijos rašytojas Wells'as vienoje savo fantastiškų novelių pasakoja apie baisenybes būsimo Europos karo, kuriame vartojamos jau ne nuodingų dujų ir termito bombos, bet atominės bombos. Bet tai nereiškia, kad reikia sustabdyti tyrinėjimus branduolio chemijos srityje, jei tų tyrinėjimų rezultatais negalima pasinaudoti destruktiniams tikslams.

4 §. Ciklotronas ir elektrostatinis generatorius aukšto voltažo elektrinėms dalelėms gauti

Cavendisho laboratorijos darbai paskatino ir Jungt. Amerikos Valstybių fizikus imtis tirti elementų dirbtinės transmutacijos. Nenorėdami atsilikti nuo Europos fizikų, amerikiečiai sugalvojo per pastaruosius trejus ketverius metus naujus metodus didelės energijos protonams ir deutronams gauti, ir konstruavo tikrai amerikonišku užsimojimu milžiniškus aparatus. Šitais aparatais jiems pasiseka palyginti gausiai gaminti protonus ir deuteronus 4–5 milijonų voltų energijos.



10 pav. Ciklotronas

Vieno tokių milžiniškų aparatų fotografiją atvaizduoja 10 pav. Tai vadinamas ciklotronas, sugalvotas ir konstruotas Livingston'o bei Lawrence'o Kalifornijos Un-te (baigtas statydinti 1934 m.). Čia mums visų pirma krinta į akis milžiniškas elektromagnetas, kuris sveria 85 tonas. Tai viduti-

niško garvežimio svoris. Du dideli plokšti cilindriai, viršum ir apačioje, tai magneto poliai. Jų diametras 80 cm. Juose įtaisytos elektromagneto špūlės, kurių pavijones sudaro izoluota vario juosta. Vario svoris apie 9 tonas.

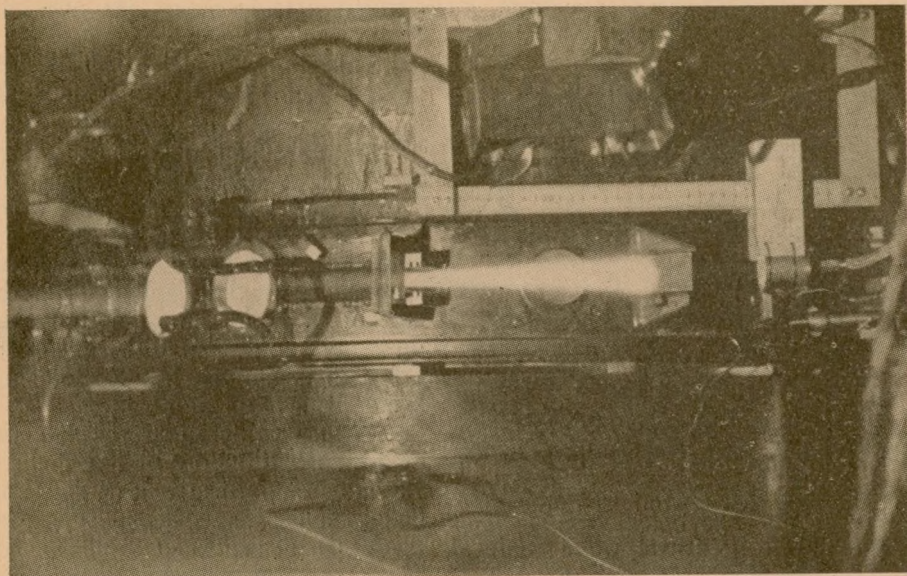
Tarp abiejų polių matome dėžę taip pat plokščio cilindro pavidalu, kuris užpildomas vandenilio arba deuterio dujomis tam tikro, palyginti žemo, spaudimo. Šitas dujas jonizuoja elektronų srautai iš kaitinamos volframo vielos. Taigi, dėžėje gausiai susidaro teigiamų jonų-protonų arba deutronų. Šiuos jonus veikia elektrinis ir magnetinis laukai. Tam tikslui dėžėje tarp polių turime du tuščiu metaliniu pusiau cilindriu su siauru tarpu tarp jų, gerai izoluotu nuo vienas kito. Į šią tarpą pačiam jo vidury patenka jonai. Pusiau cilindrių A ir B pjūvis parodytas 10 pav. žemiau elektromagneto. Šitie pusiau cilindriai prijungti prie didelio dažnumo elektroninio. Oscilatoriaus arba, tiksliau sakant, prie oscilatoriaus kondensatoriaus plokščių oscilatoriaus dažnumas 10^7 per sekundę. Taigi, oscilatorius užtaiso pusiau cilinderius A ir B paeiliui čia teigiamai čia neigiamai. Tuo pačiu metu pusiau cilinderius veikia galingas magnetinis laukas statmenai pjūvio plokštumai. Savaimė suprantama, kad cilinderių viduje potencialas yra lygus nuliui.

Kas gi čia darosi? Tegu kintamosios srovės potencialų skirtumas, kurį palaiko tarp pusiau cilinderių A ir B oscilatorius, bus 10 000 voltų. Magnetinis laukas suka jonus ratais. Kada, sakysime, pusiau cilindris B neigiamai užtaisytas, tai jis traukia joną ir suteikia jam tam tikrą greitėjimą. Bet tuo pačiu metu joną suka magnetinis laukas, savo ruožtu suteikdamas jam greitėjimą. Taigi jonas, greitėdamas, daro pusiau ratą. Kitoje oscilatoriaus periodo pusėje pusiau cilindris A darosi neigiamas, o pusiau cilindris B teigiamas. Todėl jonas pereina iš pusiau cilindrio B į pusiau cilindrį A, ir, pereidamas, jis toliau pagreitinamas elektrinio ir magnetinio laukų veikimu. Todėl jis dabar daro didesnio stipino pusratį. Taigi, artimiausias iš eilės oscilatoriaus pusiau periodais jonas daro vis didesnius ir didesnius pusratius. Oscilatoriaus dažnumas suderintas čia su jono perėjimais iš vieno pusiau cilindrio į antrą taip, kad oscilatoriaus potencialo kryptis keičiasi kaip tik tuo metu, kada jonas baigia savo pusiau ratą viename pusiau cilindrių.

Rezultatas tas, kad jonas, vis greitėdamas ir greitėdamas, daro spiralę, kurios vingiai vis eina didyn. Bet laikas, per kurį jonas daro pusratį, pereidamas iš A į B ir atgal, pasilieka tas pats. Tai reiškia, kad tas laikas visai nepareina nuo pusratčių stipino. Vadinasi, jono greitumas vis eina didyn ir didyn. Iš tikrųjų čia turime šiuos santykius: $Hev = \frac{mv^2}{r}$ ir $t = \frac{\pi r}{v}$ (lai-

kas, reikalingas jonui pusiau ratui daryti). Kadangi $r = \frac{mv}{He}$, tai $t = \frac{\pi m}{He}$. Vadinasi, pusiau ratu apsisukimo laikas visai nepareina nuo stipino. Tai labai būdingas esminis ciklotrono principo bruožas. Dėl šio ypatumo su palyginti nedideliu voltažu galima pasiekti labai didelių greičių, kitaip sakant, galima gauti labai didelio voltažo jonus. Pav., jei jonai, prieš išeidami iš tarpo tarp pusiau cilinderių A ir B, padaro tarp A ir B 200 pusiau ratų ir jei oscilatoriaus voltažas yra 10 000 voltų, tai jonai išeina tokio greičio, kuris atitinka energiją $2 \cdot 10^6$ voltų. Taigi, čia magnetinis laukas suka jonus vis didėjančiais ratais, kol bus pasiektas tam tikras ribos greitumas, kurio

didumas pareina nuo oscilatoriaus dažnumo ir nuo magnetinio lauko stiprumo. Todėl aparatas ir vadinamas ciklotronu (suktinis). Didinant oscilatoriaus dažnumą ir magnetinio lauko stiprumą, galima gauti labai didelių greitumų, t. y. labai didelės energijos jonų. Livingstonas ir Lawrence gavo deuteronus apie $5 \cdot 10^6$ voltų. Bet jie tikisi gauti ir 10 milijonų voltų.



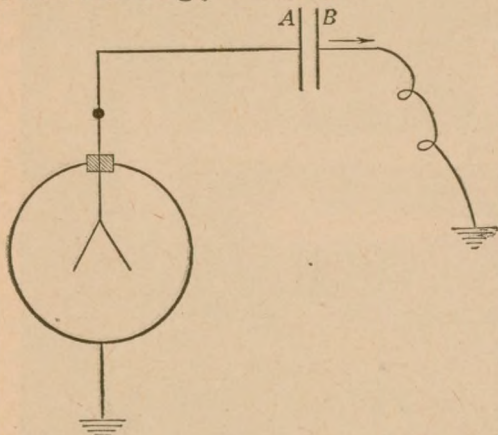
11 pav. $5\frac{1}{2}$ milijonų voltų deuteronų sriautas

11 pav. atvaizduoja fotografiją deuteronų sriauto, kuris išsibrauja iš dėžės tarp elektromagneto polių į orą. Šių deuteronų energija $5,5 \cdot 10^6$ voltų ir todėl jie taip smarkiai bombarduoja orą, kad jų takas smarkiai šviečia. Šių deuteronų nuotolis ore 25 cm. Tai labai didelis nuotolis. Ir jei atsižvelgti į dvigubą deuterono masę palyginti su protonu, tai bus suprantama, kad tokių deuteronų kinetinė energija yra žymiai didesnė už protonų energiją. Taigi, jie labiau tinka atomams skaldyti kaip protonai.

Atvaizduotas fotografijoje deuteronų sriautas atitinka elektros srovę $5 \cdot 10^{-6}$ amp. Tai reiškia, kad ciklotronas išmeta $3,7 \cdot 10^{13}$ deuteronų per sekundę, tuomet kai 1 mgr. radžio išmeta tik $3,7 \cdot 10^7$ α -dalelių per sekundę. Kaip jau matėme, šitas α -dalelių skaičius atitinka srovę $1,2 \cdot 10^{-11}$ amperų. Aišku, kad ciklotrono našumas šituo žvilgsniu yra didesnis, kaip radžio preparatų našumas. Galime žiūrėti į ciklotroną kaip į ypatingą elektros krosnį, kuri tiekia nepaprastai didelę kinetinę energiją, arba kaip į ypatingą elektromagnetinę patranką, kuri išmeta nepaprastai dideles energijos elektrines daleles.

Didelis ciklotrono patogumas ir net malonumas yra tas, kad čia palyginti su mažu kintamosios srovės voltažu galima gauti labai didelio voltažo elektrines daleles. Tai suteikia šitam aparatui pirmenybės palyginti su kitais aparatais, apie kuriuos dabar kalbėsime.

Kiti aparatai aukštų voltažų elektrinėms dalelėms gaminti remiasi elektroforinės mašinos principu. Yra tokių aparatų keletas variantų. Čia aprašysime van de Graaffo aparatą, kuris sugalvotas ir pastatytas Masačusetso Technologijos Institute.

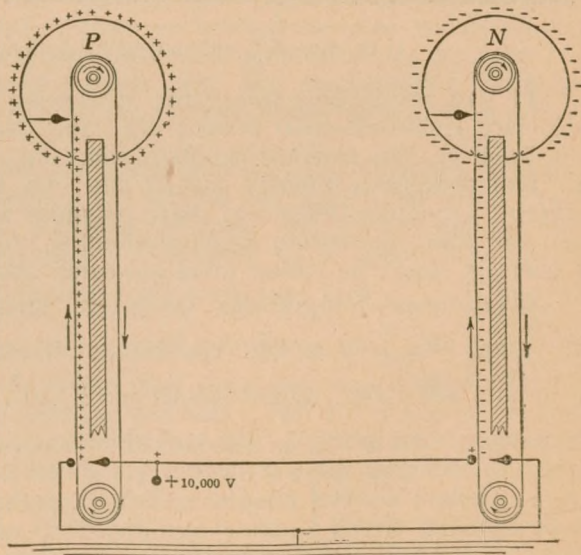


12 pav. Elektroforinės mašinos principas

Prisiminsime elektroforo principą, kurį atvaizduoja 12 pav. Čia turime kondensatorių AB, kurio elektriškai apkrauta plokštis A prijungta prie elektroskopo, o plokštis B prijungta prie žemės. Tolinant plokštį B nuo A, elektroskopo lapeliai persiskiria smarkiau. Vadinasi, potencialas eina didyn padirbto darbo sąskaiton. Tolindami plokštį B nuo plokšties A mes padirbame darbą prieš elektrosstatinės traukos jėgą tarp kondensatoriaus plokščių.

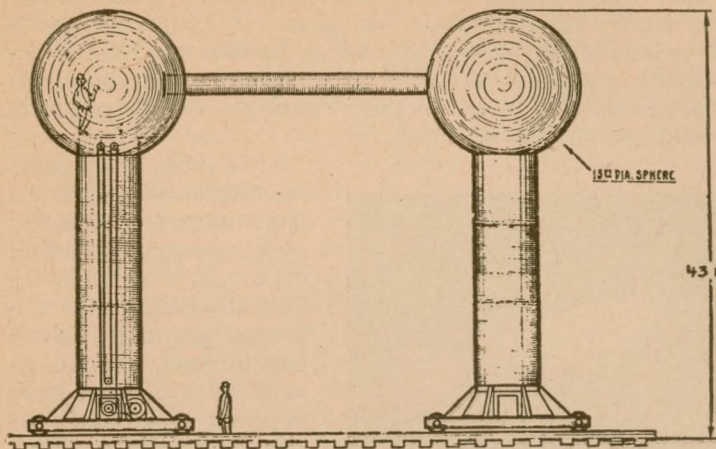
Šituo principu ir remiasi van de Graaffo didelio voltažo elektrostatinis generatorius, kurį schematiškai atvaizduoja 13 pav. Čia elek-

tros išteklis — kenotroninis transformatorius 10 000 voltų įtempimo. Šito įtempimo teigiama ir neigiama elektra šepčiais suteikiama dviem dideliems šilko transmisijos diržam, kurių du per mesti per skritulius. (+ elektra suteikiama diržui iš kairės pusės, o — elektra iš dešinės pusės). Skritulius suka elektros varikliai. Diržai ir skrituliai turi būti rūpestingai izoluoti. Besisukdami diržai patenka į milžiniškus tuščius rutulius iš aluminio. Čia elektra nuimama nuo jų metaliniais smaigaliais ir suteikiama rutuliams. Taigi ant šitų rutulių paviršiaus tauposi teigiama (iš kairės pusės) ir neigiama (iš dešinės) elektros ir potencialų skirtumas tarp abiejų rutulių auga. Ši-



13 pav. Van de Graaffo elektrostatinis generatorius

tam potencialų skirtumui ribą nustato mediuomo tarp rutulių atspara elektros tempimui ir diržų, skritulių bei kitų aparato dalių izolacijos tobulumo laipsnis.



14 pav. Van de Graaff'o generatoriaus dimensijos

14 pav. duoda supratimą apie šito generatoriaus dimensijas. Aluminio rutulių diametras 4,5 metrų. Nuo grindų iki rutulių viršūnių 13 metrų, o nuo tų viršūnių iki lubų dar 6 metrai. Taigi, patalpos aukštis 19 metrų — beveik trijų aukštų salė. Iš paveikslo matyti, kaip santykinai žmogaus ūgis su generatoriaus dimensijomis.

Šito generatoriaus statyba užtruko beveik ketverius metus. Jis pirmą kartą buvo pavartotas 1935 m. Gegužės mėn. Sakoma, kad pasisėkė gauti $7 \cdot 10^6$ voltų. Tokio aukšto voltažo akyvaizdoje labai opus klausimas stebėtojo vieta ir aparato tarnautojų darbininkų apdraudimas nuo pavojingų elektros smūgių. Buvo manoma, kad tinkamiausi vieta stebėtoju, už vis mažiau pavojinga, tai aluminio rutulio viduje. Bet pasirodė, kad čia negalima apsiginti nuo neutronų, kurie gausiai susidaro iš ${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H}$, veikiant tokiam dideliame voltažui. Nepaisant to, kad labai didelis voltažas smarkiai apsunkina naudojimąsi tokiu generatorium, Sovietų Rusijoje vis dėlto statomas toksai generatorius, sakoma, dar didesnis.

15 pav. atvaizduoja 10^6 voltų elektros kibirkštį. Tokias kibirkštis duoda aukšto įtempimo elektros instaliacija anglų tautinėje fizikos laboratorijoje Tedingtone. Gaila, aš nesuradau $7 \cdot 10^6$ voltų kibirkšties fotografijos. Bet tai dar menkniekis palyginti su žaibu, kurio stiprumas siekia šimtus ir net tukstančius milijonų voltų. Dėl to, dedama pastangų ir pasinaudoti žaibo energija atomams skaldyti. Ant Monte Generoso 2000 metrų aukštumoj, ant Šveicarijos ir Italijos sienos, netoli nuo Lugano, rengiama atitinkama laboratorija, nes šitoj vietoj labai dažnai esti perkūnijos.

Šių dalykų žinovas, fizikos profesorius Gordon Ferrie Hull išsitaria šitaip: „Naujų laboratorijų įrengimas, kurios specialiai skiriamos aparatams atomams skaldyti, konstrukcija tam pačiam reikalui milžiniškų ماشینų, kurios aikvoja šimtus kilovatų jėgos valandomis, dienomis, mėnesiais, — visa tai kainuoja milijonus dolerių. Tai rodo, kokia didelė reikšmė pripažįstama šitai naujai fizikos šakai — dirbtinei elementų desintegracijai“.

5 §. Dirbtinės elementų transmutacijos pavyzdžiai

Atsiradus dirbtinių būdų pagamintiems labai didelės energijos protonams ir deutronams, pradėta jais naudotis atomams skaldyti. Per pastaruosius dvejus metus atlikta daugybė transmutacijos bandymų, ypač Amerikoje. Bet ir Cavendisho laboratorija Kembridže neatsiliko, naudodamasi ne tik protonais ir deutronais, bet ir α -dalelėmis. Ypatingai veiklūs pasirodė deutronai ir davė ypatingai įdomių rezultatų.



15 pav. Milijono voltų žaibas

bridže bombardavo deutronais deuterio dujas ir gavo trečiąjį vandenilio isotopą: ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_1\text{H}^1 + {}_1\text{H}^3$. Tokiu pat bombardavimu jie gavo antrąjį helio isotopą, būtent, pagal reakciją: ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + {}_0\text{n}^1$. Pirmuoju atveju susidaro protonas ir tritonas, antruoju neutronas ir antrasai helio isotopas. Taigi, čia turime to paties masės skaičiaus dviejų skirtingų elementų atomus.

Kvantų mechanika matematiškai išaiškino šią didesnę deutronų efektingumą palyginti su protonais ir α -dalelėmis. Didesnį deutronų veiklumą suprasti galime atsimindami, kad deutronas yra sudarytas susijungimu elektriškai užkrautos dalelės, protono, su elektriškai neutralia dalele, neutronu. Protonas įgalina mus suteikti deutronui elektromagnetiniais metodais didelę energiją ir nukreipti tą energiją, kur mums reikia. O neutrono dėka deutronas gali praskverbti per galingą branduolio elektromagnetinį lauką, peržengti visus jo potencialo barjerus ir patekti į branduolio vidų.

Galima palyginti, kad deutronas yra lyg sviedinys su rankena, kurios pagalba galima juo daug smarkiau veikti. Iš daugybės atliktų transmutacijų mes čia patiekiame tik keletą įdomesnių. Oliphant, Harteck ir Rutherford Kem-

Jie surasti tik šiuo metodu, susekus jų takus ir nustačius masės-energijos santykius iš Wilsono kameros fotografijų.

Antrąjį lengvesnį helio izotopą galima gauti dar ir kitu būdu, būtent, bombarduojant lengvesnį ličio izotopą masės skaičiaus 6 protonais: ${}_3\text{Li}^6 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^3$. Čia gaunami abu helio izotopai drauge. Mišinyje jie identifikuojami takais ant Wilsono kameros fotografijų ir su pagalba Einsteino masės-energijos santykio. Priminsime, kad bombarduojant protonais sunkesnį ličio izotopą masės skaičiaus 7, gaunama tik α -dalelės, t. y. ${}_2\text{He}^4$. (Tai Cockrofto-Waltono reakcija). Bet yra ir variantas pastarosios reakcijos, būtent: ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_4\text{Be}^8 + \gamma$. Čia iš dviejų branduolių susidaro naujas branduolys. Tai tikras sintezas—labai retas atsitikimas branduolio chemijoje. Bet gautas lengvesnis berilio izotopo branduolys ${}_4\text{Be}^8$ yra nepastovus ir lengvai skyla: ${}_4\text{Be}^8 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$. Branduolys ${}_4\text{Be}^8$ susidaro sužadintoje būklėje ir todėl pereidamas į normalią padėtį (į žemiausią energijos lygmę) atiduoda γ -radiacijos kvantą.

Labai įdomi transmutacijos reakcija, bombarduojant sunkesnį boro izotopą protonais: ${}_5\text{B}^{11} + {}_1\text{H}^1 \rightarrow 3 {}_2\text{He}^4$. Susidaro trys α -dalelės ir gan didelio nuotolio. Taigi, galima rimtai galvoti apie dirbtinę α -dalelių gamybą. Galimas dalykas, kad tokios α -dalelės bus pigesnės, kaip radžio preparatų išmetamos.

Šita transmutacija priklauso vadinamos pagaunamos desintegracijos tipui. Čia vienas branduolys, taip sakant, įklimpsta į kitą branduolį arba pagaunamas to kito branduolio. Rezultatas tas, kad struktūriniai branduolių elementai persigrupuoja ir susidaro naujos pusiausvyros sistemos, nauji branduoliai. Išėmus tik vieną reakciją, būtent, branduolio ${}_4\text{Be}^8$ susidarymą, visos kitos čia suminėtos reakcijos priklauso šitam pagaunamos desintegracijos tipui.

Yra dar trečias transmutacijų tipas, kuris tačiau pasitaiko retai. Čia bombarduojanti dalelė nenustoja savo individualybės, bet savo smūgiu ji suskaldo suduotą branduolį. Pavyzdys yra deuterio dujų bombardavimas α -dalelėmis: ${}_1\text{H}^2 + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_1\text{H}^1 + {}_0\text{n}^1 + {}_2\text{He}^4$. Vadinas, čia α -dalelė suskaldo deuteroną į jo sudėtinės dalis, t. y. į protoną ir neutroną.

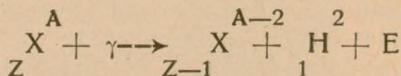
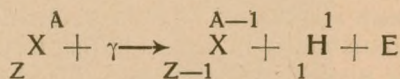
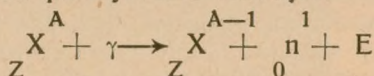
Kad parodytume, kokia naujų galimybių aibė išplaukia iš šitų naujų tyrimo metodų ir kokios naujo didelio darbo perspektyvos laukia fizikų ir chemikų, patiekiami čia abiejų ličio izotopų transmutacijas, bombarduojant tuos izotopus protonais ir deuteronais. Čia turime 11 skirtingų reakcijų, būtent:

- 1) ${}_3\text{Li}^6 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^3 + \text{E}$ (Dee-Walton).
- 2) ${}_3\text{Li}^6 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^3 + \gamma + \text{E}^1$ (Lauritsen-Crane).
- 3) ${}_3\text{Li}^6 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4 + \text{E}$ (Dee-Walton).
- 4) ${}_3\text{Li}^6 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 + \text{E}$ (dar ne patikrinta).
- 5) ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4 + \text{E}$ (Cockroft-Walton).
- 6) ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^3 + {}_0\text{n}^1 + \text{E}$ (Oliphant, Kempton, Rutherford).
- 7) ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_4\text{Be}^8 + \gamma$. (Lauritsen-Crane).
- 8) ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4 + {}_0\text{n}^1 + \text{E}$ (Oliphant, Kensey).
- 9) ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_4\text{Be}^9 + \gamma$ (ne patikrinta).
- 10) ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_4\text{Be}^8 + {}_0\text{n}^1 + \text{E}$ (Bonner-Brabaker).
- 11) ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_3\text{Li}^8 + {}_1\text{H}^1 + \text{E} \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4 + \text{e}^- + {}_1\text{H}^1 + \text{E}$ (Crane, Lauritsen, Delsano, Fowler).

Jau minėjome, kad paprastai tenka manipuluoti su izotopų mišiniais. Tai apsunkina atskirų izotopų elgesio išaiškinimą. Bet kiekybinis susidaužymo takų nagrinėjimas ant Wilsono kameros fotografijų, kad ir nelengvas darbas, visuomet duoda aiškų atsakymą, kaip elgiasi tas ar kitas izotopas. Be to, šiandien daroma pastangų turėti isoluotų grynų izotopų išteklius, taip kad galima būtų sekti jų transmutacijas isoluotame stovyje. Pav. Cavendisho laboratorija turi jau maždaug po 0,001 mgr. ličio ir berilio izotopų patikrinti išvadoms, kurios gaunamos manipuluojant su izotopų mišiniais.

Per dvejus-trejus paskutinius metus atlikta labai daug transmutacijų, panašių į pažymėtas čia ličio transmutacijas. Iš tikrai žinomų 90 elementų ir 280 izotopų išmėginta apie 60 elementų ir 180 izotopų, daugiausia lengvesnių elementų. Tai labai įdomus branduolio struktūros bruožas, kad patys sunkieji branduoliai reiškia spontaniinę transmutaciją (tai naturalus radioaktingumas), tuo tarpu kai dirbtinė transmutacija palyginti lengvai atsiekiama su lengvesniais branduoliais.

Amerikiečiai, ypač Livingstona'as ir Lawrence'as, ciklatrono išradėjai, ir jų bendradarbiai veikė pagal tam tikrą planą, surašydami iš pradžios reakcijas branduolių, veikiamų įvairiais veiksniais, ir apsvaistydami, kokios iš tų reakcijų galimos ir kokios negalimos. Pavyzdžiui, galima pradėti nuo elemento X atominio skaičiaus Z ir atominės masės A, veikiant jį γ -spinduliais. Tad galima parašyti šios reakcijos:



ir t. t.

Paskui pakeičiame γ -spindulius neutronais ir rašome naują eilę reakcijų. Neutronai pakeičiami paeiliui protonais, deuteronais bei α -dalelėmis ir gaunamos vis naujos ir naujos transmutacijų eilės. Paskui mėginama išspręsti, kokios iš visų šių lygčių realizuojamos ir kokios nerealizuojamos. Šiandien mums dar nežinomos tikros radioaktingumo priežastys, branduolių pastovumo sąlygos, kokiomis sąlygomis jie keičiasi ir kokie veiksniai nulemia branduolinių reakcijų kryptį.

Bet nuostabus chemiko instinktas, kvantų mechanikos padedamas, sugeba šiaip taip orientuotis šituose klausimuose. To dėka ir amerikiečių išradimais bei pastangomis mes turime šiandien pirmą šitos naujos chemijos srities apžvalgą. Ji apima jau tiek daug medžiagos, kad jai surašyti ir didoko tomo neužtektų. Be to, Livingstona'as ir Evan'sas sustatė smulkias visų atliktų transmutacijų kartogramas, pasiremdami tam tikromis taisyklėmis, kurios gautos transmutacijų studijomis. Iš šitų taisyklių paminėsime čia šias:

1) Susijungimas branduolio su deuteronu (protonas + neutronas) paprastai duoda artimiausį aukštesnį elementą;

2) susijungimas branduolio su neutronu duoda to paties elemento didesnės masės isotopą;

3) Susijungimas branduolio su protonu duoda taip pat artimiausį aukštesnį elementą.

Iš to nesunku suvokti, kad išmetant branduoliams neutronus ir protonus, jų atmaina vyksta priešinga kryptimi.

Taigi, transmutacijų kartograma susideda iš gulsčių atomų eilių ir iš vertikalų atomų skilčių, kuriose atomai pažymėti mažučiais ketvirtainiais. Todėl prisidėjus prie branduolio deutronui, atomas pasistumia gulsčioje eilėje viena vieta į dešinę pusę ir vertikalioje skiltyje viena vieta aukštin. Prisidėjus protonui, mes turime perstumą viena vieta į dešinę pusę gulsčioje eilėje ir viena vieta žemyn vertikalioje skiltyje. O prisidėjus neutronui gulsčia kryptimi nėra jokios perstūmos. Šiuo atveju atomas pasikelia tik viena vieta aukštin vertikalioje skiltyje. Šitokia kartograma yra ne kas kita, kaip periodinės elementų lentelės praplėtimas.

Tarsi karščio pagauti, amerikiečiai nudirbo šitą didelį darbą mažiau kaip per dvejus metus. O kas bus, kada jiems pasiseks ciklotrono pagalba gauti protonus ir deutronus, sakysime $20 \cdot 10^6$ voltų energijos? Galima sau įsivaizdinti, kiek atsiras naujų transmutacijų ir naujų dirbtinio radioaktingumo atvejų!

Kaikas gali manyti, kad ir šių dienų fizikai bei chemikai yra pagauti aukso geidulio, kaip buvo pagauti alchemikai. Be abejo, ir dabarties mokslininkai yra esmėj tokie pat žmonės, kaip ir alchemikai. Bet ir alchemikai savo darbe vadovavosi nevien pasipelnymo motyvais. Jiems nebuvo sveiktas ir benaudis smalsumas. Tasai motivas, pirmoj eilėj, veikia ir dabar. Šių dienų fizikams bei chemikams visų pirma rūpi transcendentinis auksas, t. y. gilesnis materijos struktūros pažinimas. Bet, kaip rodo mokslo istorija, iš tokių pastangų vėliau ar anksčiau visuomet išeina ir fizinis auksas, t. y. žmogaus medžiaginio gyvenimo pagerinimas. Galimas dalykas, kad gilesnis atomo struktūros pažinimas atidengs fizikams bei chemikams ir būdus naudotis milžiniška energija, kuri yra uždaryta atomuose.

6 §. Dirbtinis radioaktingumas. Radio-natris. Neutronų veikimas

Kaip jau matėme, Irenai Curie ir jos vyrui Joliot'ui 1932 m. paspruko iš rankų du svarbiu aptikimu—neutrono ir pozitrono. Užtat 1934 m. jiems pasisekė aptikti dirbtinis radioaktingumas, už ką jiedviem vėliau buvo pripažinta Nobelio premija.

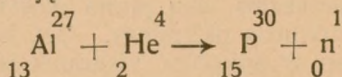
Jiedu tuomet bombardavo α -dalelėmis iš polonio aluminį. Paprastai, radžio preparatai leidžia α -daleles ir γ -spindulius, kurie komplikuoja α -dalelių veikimą. O polonis leidžia tik α -daleles ir tai didelio nuotolio.

Curie-Joliot pastebėjo, kad bombarduojamas α -dalelėmis aluminis išmeta neutronus ir pozitronus; bet paaiškėjo, jog ir nutraukus bombardavimą aluminis nesiliauja kurį laiką leidęs pozitronus. Jiedu sekė pozitronų emisijos nykimą Geigerio-Müllerio skaitikliu. Tai aparatas, kuriuo dažniausiai sekamas kosminių spindulių veikimas. Šio aparato esminę dalį sudaro metalinė dėžutė arba metalinis vamzdis, evakuotas iki didžiausio galimo laipsnio. Vamzdis turi iš vieno galø langelį iš ploniausios aluminio folijos,

o iš kito galo vamzdin įeina gerai izoluota metalinė viela, kuri baigiasi aštriu galu. Vamzdžiui suteikiamas gan aukštas neigiamas potencialas — nemažiau kaip 2000 voltų. Jei į vamzdį patenka kosminiai spinduliai arba pro langelį bet kurios elektrinės dalelės, tai kaip jonizacijos paseka susidaro elektros srovės pulsacija. Srovė sustiprinama elektroniniu vamzdeliu. Sustiprinti srovės impulsai veikia mikrofoną, arba garsiakalbį, kuris traška arba net čypia. Taigi, galima patogiai skaičiuoti patenkančias į Geigerio-Müllerio vamzdį elektrinės daleles.

Šito aparato jautrumas nepaprastai didelis. Užtenka tik vieno elektro-
no per sekundę, kad išgirstum jo prasiskverbimą į vamzdį. O geriausių šių
dienų elektrometrų jautrumas yra 10^{-15} amperų. Tai reiškia, kad toksai elektrometras reaguoja, kada jį veikia bent 6000 elektronų per sekundę. Taigi, šis Geigerio-Müllerio skaitiklis yra labai patogus radioaktingoms atmainoms sekti, ypač kada turima reikalo su radioaktingomis medžiagomis, kurių pusiau amžius yra trumpas.

Matyt įtardami, kad, nutraukus aluminio bombardavimą α -dalelėmis, jis elgiasi panašiai kaip radioaktinga medžiaga, Curie ir Joliot ir pamėgino sekti pozitronų emisijos nykimą, skaičiuodami pozitronus su Geigerio skaitikliu. Pasirodė, kad pozitronų emisija ėjo mažyn pagal eksponentinę formulę $N=N_0 e^{-\lambda t}$ (N_0 pozitronų skaičius bandymo pradžioje, N jų skaičius laiku t). Bet tai vienas charakteringiausių radioaktingos atmainos bruožų. Todėl Joliot'ai ir priėjo išvadą, kad bombarduojant aluminį α -dalelėmis, susidaro kažin kokia radioaktinga medžiaga. Jiedu spėjo, kad čia bus fosforo isotopas pagal reakciją:



Šio fosforo isotopo branduolys nepastovus ir todėl vyksta tolimesnė atmaina: $\begin{array}{c} 30 \\ 15 \end{array} \text{P} \rightarrow \begin{array}{c} 30 \\ 14 \end{array} \text{Si} + e^-$ (positronas). Vadinasi, bombarduojamas α -dalelėmis aluminis virsta radioaktingu fosforu. Joliotai pavadino šią radioaktingumą indukuotu, arba dirbtiniu.

Savo spėjimą Joliotai parėmė kiekybiniais cheminiais bandymais. Jiedu ištirpino druskos rūkštyje nedidelį bombarduoto aluminio kiekį ir pridėjo prie šio tirpalo nedidelį kiekį paprasto fosforo druskos. Paskui jiedu šitą fosforą nusodino, pasiremami tuo faktu, kad nusodinant vieną isotopą būtinai kartu nusėda ir kitas isotopas, kad ir to kito isotopo būtų tik pėdsakai, nes cheminės isotopų savybės yra identiškos. Tai ponios Curie-Skladovskaitės, Irenos motinos, išdirbtas ir gerai išbandytas metodas.

Iš tikrųjų, nusodintas fosforas pasirodė radioaktingas, o aluminio druskos tirpalas po fosforo nusodinimo nerodė radioaktingumo nė pėdsakų. Tuo buvo patikrintos anksčiau parašytos dvi lygtys.

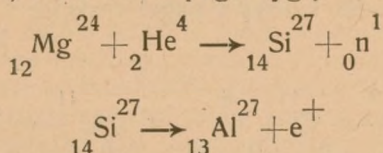
Joliotai, pasirėmę Geigerio skaitiklio duomenimis, nustatė radioaktingo fosforo pusiau amžių arba periodą pagal formulę $t = \frac{1}{\Lambda} \ln 2 = \frac{0,692}{\Lambda}$ (radioaktingumo konstanta Λ iš formulės $N=N_0 e^{-\Lambda t}$, taikinant šią formulę ra-

dioaktingumo stebėjimams su Geigerio skaitikliu). Tasai radioaktingo fosforo pusiau amžius nedidelis, būtent $3' 15''$.

Be to, Joliotai rado, kad dirbtinas fosforo radioaktingumas yra 200 000 kartų silpnesnis kaip naturalus polonio radioaktingumas. Nepaisant šitų trūkumų vis dėlto dirbtinis radioaktingas fosforas buvo pirmutinė kregždė, kuri atidarė naują bandymų liniją. Todėl šitas Joliotų aptikimas ir laikomas svarbiu žygiu fizikos mokslo istorijoje.

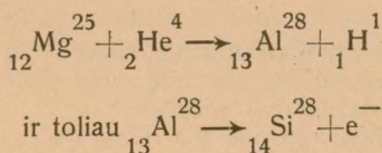
Per pastaruosius dvejus metus atsirado nemaža dirbtinio radioaktingumo pavyzdžių, ilgesnio periodo ir smarkesnių, kaip radio-fosforas. Iš šitų pavyzdžių mes čia paimsime keletą.

Bombarduojant α -dalelėmis lengvesnį magnio isotopą gaunamas radioaktingas silicis, trumpai, radio-silicis pagal lygtį:

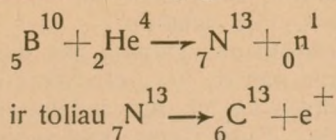


Taigi, radio-silicis išmeta pozitroną (e^+) ir virsta pastoviu aluminio isotopu.

O bombarduojant α -dalelėmis sunkesnį magnio isotopą gaunamas radio-aluminis:

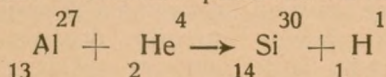


Taigi, čia radio-aluminis išmeta elektroną ir virsta pastoviu siliciu. Bombarduodami α -dalelėmis borą, gauname radio-azotą:



Šioms reakcijoms patikrinti galima kurį laiką bombarduoti boro nitridą BN, po bombardavimo paveikti nitridą natrio šarmu. Gaunamas amoniakas ir boro-rūgštis. Taigi, radioaktingas azoto isotopas visas turi būti amoniake. Taip iš tikrųjų ir yra. Amoniakas pasirodo radioaktingas, o boro-rūgštis nerodo radioaktingumo nei žymių.

Bombarduojant aluminį α -dalelėmis, reakcija gali vykti dviem variantais: arba išmetamas neutronas ir susidaro radio-fosforas (Jolito reakcija), arba išmetamas protonas ir susidaro pastovus neradioaktingas silicio isotopas pagal lygtį:

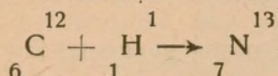


Ellis ir Henderson'as tvirtina kad pastaroji reakcija pasitaiko dažniau, kaip Joliotų reakcija. Žodžiu, tas pats elementas, bombarduojamas

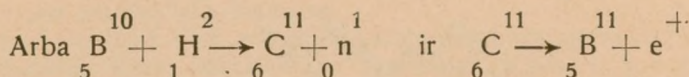
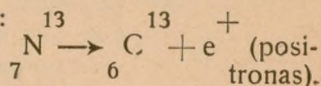
tomis pačiomis dalelėmis, gali duoti įvairius produktus. Priežastis tokio elgesio šiandien dar neaiški. Kvantų mechanikos dalykas yra išaiškinti sąlygas, kuriomis ši transmutacija eina pagal Joliotus, ir kuriomis pagal Ellis-Hendersoną.

Savaimi suprantama, kad, atsiradus dirbtinai pagamintiems didelės energijos protonams ir deutronams, pradėta jais bombarduoti atomai, kad gautų nepastovius branduolius, kitaip sakant, dirbtinį radioaktingumą. Duodame čia keletą pavyzdžių.

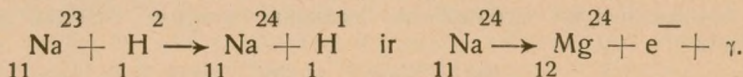
Protonais bombarduodami anglį, gaunam radioaktingą azoto isotopą:



Tai antras branduolio sintezio pavyzdys, bet produktas nepastovus ir todėl keičiasi pagal reakciją:



Iš panašių reakcijų sensaciją sudarė radio-natrio pagaminimas, bombarduojant deutronais $2 \cdot 10^6$ e.v. paprastą natrį. Reakcija čia tokia:



Deutronai, kuriais bombarduojama, sudaro čia 10^{-6} amperų srovę, kas atitinka $6 \cdot 10^{12}$ deutronų per sekundę. Jų veikimo rezultatas 10^7 energingų elektronų arba β -dalelių per sekundę.

Radio-natrio ganybos autorius yra Lawrence'as, vienas ciklotrono išradėjų (Kalifornijos universitete). Lawrence'as ir jo bendradarbiai matavimais nustatė, kad išmetamos radio-natrio β -dalelės turi energiją $1,2 \cdot 10^6$ e.v., o tuo pačiu metu išmetami γ -spinduliai $5,5 \cdot 10^6$ e.v. Jie nustatė ir radio-natrio pusiau amžių, būtent, 15,5 valandų.

Tokio radio natrio ciklotronas gamina per dieną 50 mgr., kurių kaina 2500 dolerių. 50 mgr radio-natrio yra ekvivalentingi tokiam kiekiui radono, kuris yra pusiausviroje su 50 mgr radžio. Bet 50 mgr radžio šiandien kainuoja 5000 dolerių. Taigi išeina, kad radio-natris, kaip energingų β -dalelių ir γ -spindulių šaltinis, yra du kartu pigesnis, kaip toks pat radžio kiekis. Bet čia dalykas toks, kad radžio pusiau amžius 1600 metų, o radio-natrio 15,5 valandų. Vadinasi, turėdami 50 mgr radžio, mes galime semti iš jo radoną, praktiškai kalbant, neribotą laiką. O 50 mgr radio-natrio reikia gaminti kiekvieną kartą pagal reikalą. Taigi, šiuo atžvilgiu radio-natris negali konkuruoti su radžiu. Radis pasirodo beveik milijoną kartų stipresnis.

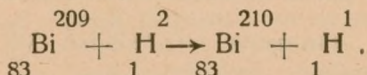
Bet vis dėlto šiandien radio-natris jau vartojamas vietoj radono ir ligoninėse ir laboratorijose, savaimi suprantama Amerikoje, tose vietose, kur yra galimumo pagaminti didelės energijos deutronus. Dalykas čia toks, kad palyginti trumpas radio-natrio periodas reiškia didelį aktingumą iš atžvilgio į svorį. Žodžiu, labai mažas svoris duoda didelį efektą. Be to, maždaug per savaitę radio-natris praktiškai nustoja aktingumo. Pasilieka

nekenksmingi magnio pėdsakai. Vadinas, įvedus į tokią kūno vietą, kur reikia, labai mažą radio-natrio kiekį, galima jį ten ir palikti, nesirūpinant jo pašalinimu. Taigi, kur gydymui arba laboratorijai reikalingos energingos β -dalelės arba kietį γ -spinduliai, ten radio-natris yra tinkamesnis už radį. Paskui nereikia užmiršti, kad čia tik istorijos pradžia. Juk yra galima pagaminti deuteronus ir $5 \cdot 10^6$ e. v. Gal pasiseks pagaminti ir 10^7 e. v. O juk su voltažu eina didyn ir branduolinių transmutacijų našumas. Tad ciklotronas duos mums nebe 10^7 elektronų, bet 10^{10} per sekundę. Bet tai reiškia prisiartinimą prie radžio, kurio 1 gramas per sekundę išmeta $3,7 \cdot 10^{10}$ α -dalelių.

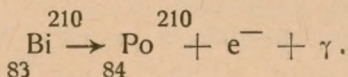
Pagaliau nereikia užmiršti, kad radžio kiekis pasauly labai ribotas. Metinė pasaulio gamyba tik 700 gramų, iš kurių 400 gramų priklauso Amerikai. O kita dalis pasiskirsto po keletą gramų tarp kitų pasaulio kraštų. Taigi, radžio preparatai sunku gauti ir todėl suprantamos pastangos pakeisti juos dirbtine radioaktinga medžiaga, panašia į radio-natrij.

Praktiškiems reikalams radionatris gaminamas bombarduojant ne metalinį natrij, bet kurią natrio druską, sakysime stalo druską.

Negalima čia nepaminėti dar vienos įdomios ir svarbios transmutacijos, būtent, bismuto transmutacijos, bombarduojant jį deuteronais:



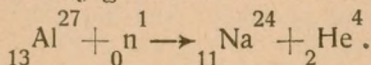
Gaunamas nepastovus bismuto izotopas, kuris pasirodo yra visai identiškas su vienu radžio transmutacijos produktu, būtent, su radžiu E, kuris duoda radį F, arba polonį:



Taigi, dirbtiniu būdu mes čia gauname natūraliai radioaktingą medžiagą. Tai svarbu.

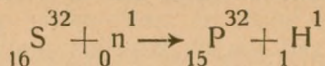
Romos universiteto profesorius Fermi pirmutinis suvokė, kad neutronai labai tinka atomams bombarduoti, kad sudarytų nepastovius branduolius ir tuo sužadintų radioaktingumą. Mes jau anksčiau pažymėjome neutrono ypatumus, jo sugebėjimą nugalėti branduolio potencialo barjerus ir prasiskverbtį į patį branduolio vidų. Ten neutronas įklimpsta, ir to paseka — arba bombarduojamo branduolio izotopo susidarymas arba branduolio sproginimas ir naujų branduolių susidarymas. Be to, mes jau žinome, kad neutronas veiklesnis, kada jo energija nuslopinta, praleidžiant jį per medžiagas, kurių sudėtyje yra vandenilio, ir kad neutronas ypatingai tinka sunkesniems atomams bombarduoti, nes sunkiųjų atomų branduolių teigiamos elektros kroviny yra palyginti didelis ir todėl sudaro nenugalimas klūtis α -dalelėms, deuteronomams ir protonams prasiskverbti.

Turėdamas visa tai galvoje Fermi su savo bendradarbiais išmėgino neutronais didelį elementų skaičių. Paduodame čia keletą jo bandymų. Bombarduojant neutronais aluminį, gaunamas radio-natris ir α -dalelės:

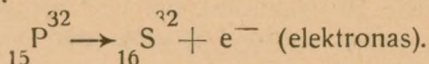


Taigi, galimas dalykas, kad ateityje ir šita Fermio reakcija galima bus naudotis radio-natriui ir α -dalelėms gaminti.

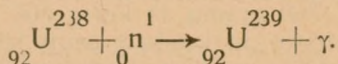
Kita Fermio reakcija – tai sieros transmutacija:



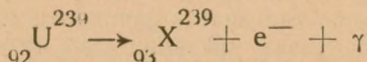
Gaunamas fosforo nepastovus, t. y. radioaktingas isotopas, kuris ir keičiasi pagal reakciją:



Labai įdomi reakcija bombarduojant neutronais patį sunkųjį elementą uraną:



Bet gautas urano isotopas ne pastovus ir šiaip keičiasi:



Taigi, gaunamas naujas elementas X didesnio atominio skaičiaus, kaip uranas.

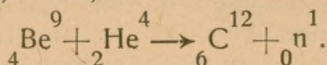
Pastaraisiais laikais panelės Meitner tyrinėjimais Berline įrodyta, kad elementas ${}_{93}^{239}\text{X}$ yra renio giminaitis ir priklauso VII^{ai} periodinės elementų lentelės grupei. Todėl jis pavadintas eka-reniu, einant Mendel'jevo pavyzdžiu.

Veikiant neutronais eka-reni gaunamas ${}_{94}^{240}\text{X}$, arba eka-osmis; iš jo tuo pa-

čiu būdu gaunamas ${}_{96}^{241}\text{X}$ arba, eka-iridis, ir pagaliau ${}_{96}^{242}\text{X}$, arba eka-platina.

Šitie trans-uraniniai elementai pridera VIII grupei.

Paskatinti Fermio ir jo bendradarbių bandymais, amerikiečiai savo rūžtu pradėjo elementus atakuoti neutronais. Ypatingai šios rūšies darbais pasižymėjo Kolumbijos universiteto fizikai Dunning, Pegram, Fink ir Mitchell. Jie, kaip ir Fermi, iš pradžių gamino reikalingus jiems neutronus žinoma jau reakcija, būtent, bombarduodami berilį α -dalelėmis iš radono:

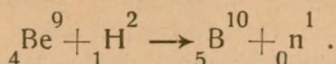


Berilio milteliai platinos kapsulėje buvo veikiami α -dalelėmis iš radono pusiausviroje, sakysime, su 50 mgr radžio. Tokio radono galia išreiškiama 50 milicurie. Radonas pusiausviroje su 1 gramu radžio sudaro radioaktingumo stiprumo standartą ir vadinamas 1 curie.

Radonas su radžiu taip pat buvo toje pačioje, platinos kapsulėje. Be to, šita platinos kapsulė iš oro buvo apklota 0,75 $\frac{\text{m}}{\text{m}}$ storumo švino sluoksniu, kad sulaikytų bent minkštesnius γ -spindulius. Pagaliau gauti neutronai buvo leidžiami per parafino sluogsnį, kad nuslopintų jų energiją iki reikiamo laipsnio.

Atsiradus ciklotronui, paaiškėjo, kad juo galima gaminti neutronus didesniais kiekiais ir pigiau, kaip su radono pagalba. Dalykas čia toks, kad

su ciklotronu galima pagaminti didelės energijos deuteronus, kurie, veikdami berilį, duoda taip pat neutronus:



Tuo būdu galima gauti 10^9 neutronų per sekundę, tuo tarpu kai 650 milicurie radonas išmeta per sekundę 2.10^{11} α -dalelių, kurios tačiau išmuša iš berilio tik 4.10^6 neutronų. Bet šitie neutronai nevienodo nuotolio, nes radonas išmeta α -daleles įvairaus nuotolio. O ciklotronas duoda vienodo nuotolio deuteronus, taip kad ir išmušami iš berilio neutronai būna vienodo nuotolio. Tai didelis patogumas, siekiant aiškumo ir tikslumo tyrinėjimuose.

Reikia tačiau pasakyti, kad gigantiškas ciklotrono magnetas smarkiai išsklaido neutronus, taip kad iš 10^9 neutronų per sekundę į bombardavimo kamerą patenka tik 10^6 neutronų. Bet tai sunkumas, kuris galima nugalėti, o faktas yra, kad su ciklotronu galima pagaminti daugiau neutronų kaip su visu radžio kiekiu, kuris pagaminamas pasaulyje per metus.

Aprašytais čia metodais iširti beveik visi elementai. Išvada tokia, kad, bombarduojant atomus neutronais, beveik visi elementai duoda nepastovius branduolius, kurie yra pastovių branduolių artimi kaimynai. Žodžiu, reikia laikyti esant įrodyta, kad beveik visuose elementuose galima sužadinti dirbtinis radioaktingumas.

Pakartosime čia dar, kad naturalaus radioaktingumo produktai yra α -dalelės, β -dalelės ir γ -spinduliai, o sužadinto, arba dirbtinio, radioaktingumo produktai yra elektronai, positronai, γ -spinduliai, rečiau neutronai su protonais ir labai retai α -dalelės. Sužadinamas radioaktingumas, bombarduojant pastovius atomus α -dalelėmis, deuteronais, protonais, neutronais ir kai kada labai kietais γ -spinduliais.

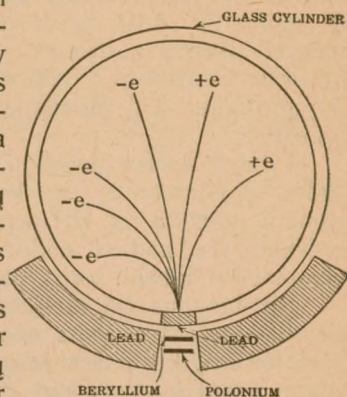
7 §. Radiacijos materializacija

Einsteino nustatymu tarp masės ir energijos vyksta toki pat tarpusavio perėjimai, kaip tarp įvairių rūšių energijos. Jau matėme, kad ličio transmutacija, bombarduojant jį protonais, duoda aiškų įrodymą perėjimo masės į energiją. Taigi, kyla klausimas, ar yra įrodymų energijos perėjimo į masę, kitaip sakant, ar yra bent vienas energijos materializacijos faktas?

Šitas klausimas nemaža kankino fizikus-matematikus, Einsteino pasekėjus, tame skaičiuje vieną kvantų mechanikos kūrėjų ir žymiausių šių dienų pasaulio matematikų, būtent, Kembridžo Universiteto teorinės fizikos profesorį Dirac'ą. Pasirėmęs kvantų mechanikos lygtimis, jis manė, kad kietų γ -spindulių absorpciją galima suprasti tik prileidus, kad arti nuo branduolio arba net jo viduje kieti γ -spinduliai virsta elektriškai teigiamų ir neigiamų dalelių poromis. Dalykas čia toks, kad didelio dažnumo spindulius smarkiai absorbuoja tik branduoliai, tuo tarpu kai mažesnio dažnumo spindulius jau absorbuoja apsupantį branduolį elektronų atmosfera. Tai suprantama prileidus, kad aukšto dažnumo γ -spinduliai branduolyje arba arti nuo jo virsta elektronais ir positronais.

Išdėstyta čia trumpai nuomonę tarytum patvirtina šis Joliotų bandymas, atliktas 1933 m. Bombarduodami berilį α -dalelėmis iš polonio, jiedu gavo

γ -spindulius 5.10^6 e. v. ir absorbavo juos švino sluoksniu. Kaip rezultata jiems pasisekė nufotografuoti positronų ir elektronų takus. Jų pavartotą aparatą atvaizduoja 16 pav. Tai cilindris iš storo stiklo, kuris iš stebėtojų pusės apklotas storu švino sluoksniu, kad apsidraustų nuo kenksmingo γ -spindulių veikimo. Iš apačios matyt polonio preparatas, kurio α -dalelės veikia berilį (aukščiau). Atpalaiduoti γ -spinduliai gali patekti į cilinderį tik per storą švino plokštelę. Veikiant magnetiniu lauku stiklo cilindry gaunami elektrinių dalelių takai-kreivės, kurios užsuka priešingomis kryptimis. 16 pav. duoda tokių kreivių fotografijas (čia stiklo cilindris yra ne kas kitas, kaip ypatingos konstrukcijos Wilsono kamera). Išmatavę kreivių kreivumą bei jų ilgumus ir padarę reikalingus suskaičiavimus, Joliotai įrodė, kad tos kreivės priklauso elektronams (kreivė užsuka pagal laikrodžio rodiklį) ir positronams (kreivė suka prieš laikrodžio rodiklį). Mes matome čia dvi poras tokių kreivių (+ ir -) ir dar dvi elektronų (-) kreives. Šitokių rezultatų akivaizdoje Joliotai priėmė Dirac'o nuomonę ir buvo tikri, kad savo eksperimentu jiedu aiškiai įrodė γ -radiacijos kvanto apsivertimą elektronu ir positronu.



16 pav. γ -radiacijos pavertimas positrono ir elektrono pora

Vėliau Joliotai ir Andersonas parodė, kad γ -spinduliai iš torio C energijos $2,65 \cdot 10^6$ e. v. taip pat išmuša positronus ir elektronus (pastarųjų mažiau) iš sunkiųjų elementų branduolių.

Pažūrėsimė, kaip tai sutaria su elektrono imanentine, arba masės, energija. Šita energija yra $mc^2 = 9,10^{-28} (3 \cdot 10^{10})^2 = 81 \cdot 10^{-8}$ ergų $= \frac{81 \cdot 10^{-8}}{1,6 \cdot 10^{-12}} = 510\,000$ e. v. Bet tai elektronui sukurti reikalinga energija. Tokia pat energija yra reikalinga sukurti positronui. Kadangi γ -spindulių kvantas sudaro porą — elektroną ir positroną —, tai tokio kvanto minimum energija privalėtų būti $2 \cdot 510\,000 = 1,02 \cdot 10^6$ e. v. O torio C atpalaiduojamų γ -spindulių energija yra $2,65 \cdot 10^6$ e. v. Taigi, sutapimas čia tik toks, kad suskaičiuota minimum energija yra tos pačios kategorijos dydis, kaip ir torio C γ -spindulių energija.

Šią dalyką tikrino ir amerikiečiai Crane su Lauritsen'u. Bombarduodami litį protonais, jie gavo labai kietus γ -spindulius (žiūr. ličio transmutacijų lygtys 2 ir 7). Šituos spindulius jie nukreipė į šviną ir gautų positronų bei elektronų energiją jiedu išmatavo ant Wilsono kameros fotografijų. Vienai porai jiedu gavo $16 \cdot 10^6$ e. v. Taigi, bombarduojamo ličio leidžiamų γ -spindulių kvantas yra lygus $16 \cdot 10^6$ e. v.

Šitokios padėties akivaizdoje suprantama, kad kaikurie fizikai iškelia abejonių dėl Joliotų padarytų išvadų. Bet fizikų dauguma vis dėlto laiko Joliotų eksperimentą įrodymu, kad radiacija (energija) pereina į masę.

8 §. Keletas bendrų pastabų

Iš daugybės atliktų transmutacijų šiame straipsnyje paliesta tik keletas įdomesnių. Dėl matematinių sunkumų čia negalima buvo apsisistoti ties teoriniais pagrindais, kuriais šių dienų kvantų mechanika stengiasi išaiškinti elementų transmutacijos procesus. Pavyzdžiui, atidėdami atominius skaičius ordinatėmis, o atomines mases abscisėmis, gautume tiesią liniją, kuri su koordinatomis sudaro kampą 45° ir ant kurios atsidurtų elementų pastovūs isotopai. Lygia greta su šiaja linija, aukščiau jos ir žemiau, eitų kitos linijos, kurios apimtų didesnės ir mažesnės masės nepastovius isotopus. Tai, gi, šita linija kampu 45° yra tartum pastovumo slėnis. Ant to slėnio krantų iš vienos ir iš kitos pusės yra susirinkę visi nepastovūs isotopai, kurie tam tikromis aplinkybėmis drimba į slėnį. Bet kodėl taip, iki šiol nežinome. Kitaip sakant, iki šiol nežinome tų dėsnių, pasirėmus kuriais galima būtų iš anksto numatyti, kokios protonų ir neutronų kombinacijos pastovios, kokios nepastovios ir kokios visai negalimos. Vienas svarbiausių kvantų mechanikos uždavinių — surasti šiuos dėsnius. Mes tada galėtume iš anksto numatyti ir nepastovių branduolių pusiau amžių.

Su šitais klausimais artimai yra susieti dar kiti svarbūs klausimai, būtent, kokiomis sąlygomis apskritai galima elementų transmutacija ir kodėl to paties elemento transmutacija reiškiasi kaikada įvairiomis formomis, kaip rodo sunkesnio ličio transmutacija, bombarduojant jį protonais (žiūr. 5 § ličio transmutacijos 5, 6 ir 7 lygtis) arba aluminio transmutacija, bombarduojant α -dalelėmis (žiūr. 6 §, radio-fosforas). Žodžiu, labai svarbu būtų žinoti taisykles, kad galima būtų išspręsti relativų to paties elemento įvairių transmutacijų galimumą.

Pagaliau pasilieka neišaiškinti iki šiol tokie dalykai, kaip transmutacijų našumo didėjimas su voltažu, nepaprastai didelis deuteronų veiklumas ir neutronų veiklumo variacija pareinanti nuo jų energijos nuslopinimo laipsnio. Visa tai yra kvantų mechanikos dalykas.

Bet nepaisant nurodytų čia didelių trūkumų, šis tas galima sužinoti apie branduolių sudėtį ir jų struktūrą ir iš tų transmutacijos pavyzdžių, kurie buvo paliesti šiame straipsnyje. Pavyzdžiui, iš reakcijos ${}_4^9\text{Be} + {}_2^4\text{He}$

$\rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$ visai aišku, kad berilio branduolys susideda iš dviejų α -dalelių ir neutrono, o anglies branduolys susideda iš trijų α -dalelių. Arba iš

Cockrofto-Waltono reakcijos ${}_3^7\text{Li} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_2^4\text{He}$ aišku, kad ličio

branduolį sudaro α -dalelė, vienas protonas ir du neutronai. Tad supranta, kad prisidėjus dar vienam protonui susidaro dar viena α -dalelė, nes ji susideda iš dviejų protonų ir dviejų neutronų.

Žodžiu, iš šitų dviejų transmutacijos pavyzdžių, lygiai kaip ir iš visos eilės kitų, tenka padaryti išvada, kad α -dalelės dalyvauja daugelio atomų branduolių sudėtyje, kaipo labai pastovus struktūrinis vienetas ir kad tie atomai, kurių branduoliai yra išimtinai sudaryti iš α -dalelių, pasižymi nepaprastai dideliu pastovumu. Pavyzdžiui, iki šiol nepasisekė suskaldyti bran-

duolių ${}^6_6\text{C}^{12}$, ${}^8_8\text{O}^{16}$, kurie sudaryti iš α -dalelių. Tas pat reikia pasakyti ir apie daug kitų branduolių. Negalima suskaldyt ir helio atomų α -dalelėmis. Vadinasi, helio branduolys, α -dalelė, yra labai pastovi struktūrinė kombinacija, kuri greta su protonais ir neutronais dalyvauja daugelio atomų sudėtyje.

Svarbu dar kartą čia pabrėžti, kad iki šiol mes žinome tik du sintezos atveju, iš daugybės atliktų transmutacijų, būtent nepastovių branduolių

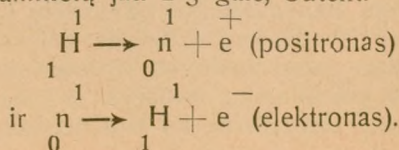
${}^8_4\text{Be}$ ir ${}^{13}_7\text{N}$ susidarymą. Bet mes negalime realizuoti ir net kol kas nenumatome galimumo realizuoti helio branduolio (α -daleles) sintezos, sakysime, iš 2 protonų ir 2 neutronų arba iš 2 deuteronų. Mes bejėgiai įvykdyti

reakciją, ${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He}$, bet mes galime įvykdyti tokią reakciją:

${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + {}_0^1\text{n}$. O kaip tiksliai sintezos reakcijos, kuriomis susi-

daro pastovūs branduoliai, visos yra surištos su masės perėjimu į energiją. Vadinasi, nėra vilties naudotis milžiniška imanentine masės energija, kol nepasiseks sintetinio pobūdžio transmutacijos, kol, sakysime, nesugebėsime sintetiniu būdu gauti α -daleles. Šita dalelė ir pasižymi nepaprastai dideliu pastovumu, todėl kad jai susidarant palyginti daug masės virsta energija.

Pagaliau, paliesime čia dar du klausimu. Manome, kad branduolį sudaro protonai ir neutronai. Taigi, visų pirma, kyla klausimas, kokia jėga sudaro ryšius tarp šitų elementarinių branduolio dalelių. Heisenberg'as tvirtina, kad tarp protonų ir neutronų veikia traukos jėga ir kad už vis pastovesni branduoliai, kada juos sudaro protonai ir neutronai poromis ir kada branduolio masė išeina du kartu didesnė, kaip branduolio atominis skaičius. Bet einant didyn sudarančių branduolį dalelių skaičiui, ima reikštis tarp protonų tendencijos išstumti vienas kitą — veikiančių tarp protonų elektros atsparos jėgų padarinys. Tada branduolys darosi nepastovus ir jo pastovumui sustiprinti reikalingas neutronų perteklius. Visų sunkesniųjų atomų branduoliai turi daugiau neutronų, kaip protonų, ir todėl jų atominis skaičius yra mažesnis, kaip pusė atominės masės. Bet iš kur ta traukos jėga, kuri palaiko ryšius tarp protonų ir neutronų? Heisenbergas mano, kad ta jėga yra tokios pat kilmės, kaip ta traukos jėga, kuri palaiko ryšius tarp atomų molekulėje. Pastaruoju atveju atomai be paliovos keičiasi savo valentingumo elektronais. Tokios mainos paseka — elektrinės traukos jėgos tarp atomų molekulėse. Taigi, ir branduolyje Heisenbergas suponuoja tokią pat mainą tarp protonų ir neutronų branduolyje. Protonas atiduoda pozitroną ir virsta neutronu. Tuo pačiu metu neutronas atiduoda elektroną ir virsta protonu. Ši nesiliaujanti maina ir sudaro jėgas, kurios palaiko ryšius tarp protonų ir neutronų branduolyje. Žodžiu, mes grįžtame prie reakcijų branduolio viduje, paminėtų jau 2 § gale, būtent:



Šitomis reakcijomis Heisenbergas aiškina ir kilmę elektronų bei positronų, kuriuos kadaise išmeta radioaktingų medžiagų atomai.

Bet čia mes susiduriame su didele sunkenybe. Visų pirma negalime šių reakcijų realizuoti. Antra vertus, susidaro nesutapimų su spinais. Elektronui, protonui ir neutronui priskiriame tą patį spiną, būtent $\frac{1}{2}$. Bet, sakysime, kada neutronas, atiduodamas elektroną, virsta protonu, tai to protono spinas turėtų būti $\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$. O mes laikome jį visuomet lygų $\frac{1}{2}$. Tokį pat prieštaravimą mes turime, kada protonas, atiduodamas positroną, virsta neutronu.

Bet viena dar piktesnė sunkenybė pasireiškia radioaktingų procesų srityje. Išmetamos branduolių elektrinės dalelės, paprastai, būna įvairių nuotolių, kitaip sakant, įvairių energijų. Tam tikros rūšies išmestų dalelių greitimai nevienodi. Jos būna visokių greitumų. Vadinasi, jų stovis nėra aiškiai apibūdintas; tuo tarpu branduolio stovis prieš dalelių išmetimą ir po išmetimo visuomet galimas griežtai apibūdinti. Tai nesudera su energijos išlaikymo dėsniu: arba energija visai panaikinama, arba ji susidaro iš nieko.

Šitiems prieštaravimams pašalinti daromas pileidimas, kad be protonų, neutronų ir positronų yra dar kitų elementarinių dalelių, būtent, neutrino ir antineutrino, kurios iki šiol nepagautos ir kurios, dalyvaudamos transmutacijose, nuneša su savimi tam tikrą energijos dalį. Stebint transmutacijas, šita energijos dalis mums ir pasprunka. Žodžiu, kada neutronas branduolyje virsta protonu, tai jis atiduoda ne tik elektroną, bet dar elementarinę dalelę tokios pat masės, kaip elektronas, bet elektriškai neutralę. Ši kol kas hipotetinė dalelė vadinama neutrinu*. Panašiai, kada protonas branduolyje virsta neutronu, tai jis atiduoda positroną ir dar elementarinę dalelę tokios pat masės, kaip positronas, bet elektriškai neutralę. Šita dalelė vadinama antineutrinu. Priskiriant šitoms hipotetinėms dalelėms spinus, pašalinami ir aukščiau nurodyti sunkumai su spinais. Neutrinai ir antineutrinai šiandien uoliai ieškomi. Taip pat ieškomas ir neigiamas protonas. Tokio protono buvimas postuluojamas simetrijos sumetimais. Be to, kosminių spindulių absorpcijos detalių negalima išaiškinti, jei neprileisti buvimą aukštuose atmosferos sluogsnuose elektrinių dalelių tokios pat masės kaip protonai, bet priešingo ženklo.

Keisti žmonės tie šių dienų fizikai! Daugumoje jie griežti antimaterialistai ir antimechanistai. Bet jie yra entuziastiški korpuskulų medžiotojai. Ir jiems, kaip matėme, dažnai sekasi; o iš to išeina tik rūpestis materialistiškai nusiteikusiems chemikams. Kiekviena nauja korpuskula drumsčia nusistovėjusią chemikų tvarką.

Taigi matome, kad branduolio fizika ir branduolio chemija atidengia naujas žinojimo sritis ir išsprendžia daug tokių problemų, kurios anksčiau atrodė neišsprendžiamos. Tuo pačiu metu šitos naujos mokslo šakos iškelia visą eilę naujų klausimų ir stato naujas problemas. Dalykas čia toks, kad kiekvienas mokslo žingsnis pirmyn reiškia prasiskverbimą į nežinomą sritį. Mokslas, be abejo, turi pradžią, bet jo galo nesimato. Savo esmę mokslas yra nesibaigianti klausimų eilė.

* Kai kas mano, kad neutrino masė mažesnė už elektrono masę.

Dalyko literatūra, kuria naudotasi:

1. Radiations from Radioactive Substances, by Rutherford, Chadwick and Ellis, 1929 m.
2. The Interpretation of The Atom, by Frederick Soddy, 1932 m.
3. The Restless Universe, by Max Born, 1935 m.
4. An Elementary Survey of Modern Physics, by G. F. Hull, 1936 m.
5. Inorganic Chemistry, by Gilbert T. Morgan and Francis H. Burstall, 1936 m.
6. The New Chemistry, by F. N. da C. Andrade, 1936 m.

Kaina Lt. 1, 50

Spaudė „Šviesos“ spaustuvė, Kaune, Jakšto g. vė 2 telef. 2-66-65